Untersuchungen

über die

Ausdehnung und Verdichtung der Bodenarten

unter Einfluss von

Düngesalzlösungen, Kalk und Witterung.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

hohen philosophischen Fakultät der Universität Rostock

vorgelegt

von

Heinrich Fuchs

aus Alzey (Rheinhessen).

Rostock

Carl Hinstorffs Buchdruckerei

1904.

Referent:
Herr Geheimer Ökonomierat Prof. Dr. R. Heinrich-Rostock.

Meinen lieben Eltern

in Dankbarkeit gewidmet.

Nachstehende Arbeit unternahm ich auf Veranlassung des Herrn Geh. Ökonomierats Professor Dr. R. Heinrich und führte sie im chemischen Laboratorium der landwirtschaftlichen Versuchsstation aus.

Es ist mir eine sehr angenehme Pflicht, diesem meinem hochverdienten Lehrer für die vielfache Anregung und freundliche Unterstützung, die mir von seiner Seite zu Teil wurde, meinen innigsten Dank an dieser Stelle auszusprechen.

Inhaltsverzeichnis.

I. Einleitung.

II. Versuchsanstellung im Allgemeinen.

III. Versuchsanstellung im Speziellen.

A. Volumveränderung bei Behandlung mit Salzlösungen.

a. Sandboden.

b. Lehmboden.

c. Thonboden.

d. Humusboden.

B. Volumveränderung von Lehm- und Thonboden durch Witterungseinflüsse.

C. Volumveränderung von Sand und Thon bei Anwendung von Kalk in Form von:

1. Kalkhydrat

2. kohlensaurem Kalk

3. Kalkschlamm

D. Volumveränderung unter Einfluss von Wasser

a. bei einer Anzahl in der Praxis vorkommender Kalk- und Mergelarten.

b. bei Kultur-Böden.

E. Untersuchung über die Natur der Krustenbildung.

IV. Schlussbemerkungen.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549202_0125

I.
Einleitung.

Unter den physikalischen Eigenschaften der Ackererde, die für den Pflanzenbau in Bezug auf dessen Fruchtbarkeit ebenso wichtig sind wie die chemischen, bieten die Volumveränderungen, welche der Boden erfahren kann, insofern ein Interesse, als dieselben über die wichtigen Lagerungsverhältnisse der Bodenelemente Aufschluss geben. Die meisten physikalischen Eigenschaften der Ackerböden sind mehr oder weniger direkt oder indirekt von der Struktur des Bodens abhängig. Die capillare Leitung des Wassers, die Wassercapacität, die Durchlässigkeit für Wasser und die Durchlüftung, also die Zufuhr von atmosphärischem Sauerstoff, die Wärmeabsorption und die Ausstrahlung sind abhängig von der Lagerung der Bodenpartikel. Bekanntlich[1] wird im landwirtschaftlichen Betrieb danach getrachtet, durch Bearbeitung der Böden dieselben in eine krümelige Masse zu verwandeln (sog. Krümelstruktur). Unter Berücksichtigung der realen Verhältnisse, wie sie bei der praktischen Landwirtschaft fühlbar werden, wird das Hauptaugenmerk darauf zu richten sein, den Boden

1) Vgl. Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik, Bd. XX S. 12.

möglichst günstig für die Vegetation zu gestalten, chemisch durch Ersatz der verbrauchten Nährstoffe und physikalisch nach Berücksichtigung der jeweiligen Verhältnisse. Zwei Hauptfaktoren, letzteres zu erreichen, sind richtige Bearbeitung unter dem Einfluss der Witterung und Melioration. Schwerer Boden wird z. B. durch Brachen lockerer gestaltet und durch Beackern bei trockener Witterung in die Krümelstruktur übergeführt, während Sandboden, wenn er feucht ist, durch Pflügen in einen physikalisch besseren Zustand gebracht wird. Durch Salzlösungen verkrusteter Boden lässt sich durch Kalk wieder aufbessern. Entwässern von Wiesen hebt die Durchlüftungsfähigkeit und erhöht damit die Wärmeabsorption. Durch Eggen des Ackers wird der atmosphärischen Luft eine grössere Oberfläche geboten, durch Hacken die Verdunstungsfähigkeit herabgesetzt usw. — Alle diese Vorgänge sind von Volumveränderungen begleitet.

Der Erste, welcher sich mit Studien über die Volumverminderung der Erdarten durch Austrocknen beschäftigte, war E. Schübler.[1] Er formte von den mit einander verglichenen Materialien in nassem Zustande gleich grosse Würfel und liess dieselben vertrocknen. Nachdem keine Gewichtsverminderung mehr konstatiert werden konnte, wurden die Erdstücke mittels eines Massstabs, welcher die Ablesung von $^1/_{10}$ Linie ermöglichte, gemessen und hiernach die Volumina berechnet. Die Resultate, die er in Bezug auf die Volumveränderung mit einfachen Erden erzielte, waren kurz folgende:

1) G. Schübler, Grundsätze der Agrikulturchemie, Leipzig. 1838.

1. Der Gyps zeigt sich in der in Rede stehenden Beziehung den Sandarten sehr ähnlich, er vermindert sein Volum durch Austrocknung sehr wenig.

2. Feine Kalkerde zeigt beim Austrocknen bei Weitem nicht die starke Volumverminderung wie der Thon, der die stärkste Kontraktion besitzt. Zusatz von Sand oder Kalk vermindert dies bedeutend.

3. Viele Mergelarten zerfallen durch Befeuchten in kleine Stückchen.

4. Der Humus erleidet durch das Austrocknen unter den gewöhnlichen Bestandteilen des Bodens die grösste Volumverminderung. Er zieht sich um $^1/_5$ seines Volumens zusammen und dehnt sich in diesem Verhältnis wieder aus, wenn er mit Wasser benetzt wird.

Die von E. Wolff[1] angestellten Versuche wurden auf 6 verschiedene Erdproben ausgedehnt. Das Verhältnis zwischen dem Volumen dieser Böden in lufttrocknen und im gesättigt nassen Zustande wurde in der Weise ermittelt, dass 40—50 g Feinerde nach ihrem Volumen in einem graduirten Zylinder gemessen und hierauf mit Wasser, welchem etwas Chlorammonium zugesetzt worden war, übergossen und geschüttelt wurden. Nach dem vollständigen Absitzen der aufgeschlämmten Erde wurde deren Volumen bestimmt und zu jenem der trocknen Masse (= 1) in Verhältnis gesetzt.

F. Haberland[2], der die vorstehend mitgeteilten Versuche ergänzte, benutzte 12 Bodenarten, denen er

1) E. Wolff, Anleitung zur chem. Untersuchung landw. wichtiger Stoffe, Berlin 1875.

2) G. Haberlandt, Fühlings landw. Zeitung 1877 Heft 7 S. 481—492.

teils in Bezug auf die mechanische Beschaffenheit, teils hinsichtlich der Art des Austrocknens verschiedene Bedingungen bot. Er feuchtete jede einzelne Erdprobe ungefähr mit der halben Wassermenge an, welche sie im gesättigt feuchten Zustande zu fassen vermochte und formte aus derselben Erdzylinder von gleicher Länge und gleichem Durchmesser. Zu diesem Zweck wurde ein 10 cm langer und 1,9 cm weiter, beiderseits offener Glaszylinder benutzt, in welchen die befeuchtete Erde in kleinen Portionen eingeführt und festgestampft wurde. Nach Füllung des Glasrohres wurde der Erdzylinder mittels eines Stempels herausgepresst und seine Länge im feuchten Zustande genau bestimmt. Auf einer Glasplatte blieben sie bis zum vollständigen Trocknen liegen, worauf ihre Länge und ihr Durchmesser wiederholt festgestellt wurde. Einen anderen Teil der befeuchteten Erdproben drückte man in flache Blechtassen, deren Grundfläche 1 qdcm gross, von 2 cm hohen senkrechten Wänden umgeben war. Man war darauf bedacht, in diesen Tassen die feuchte Erde so fest einzupressen wie dies im Zylinder geschah. Sowohl die Erdwalzen wie die Erdprismen, welche letztere in den Blechtassen gelassen wurden, liess man im Zimmer bei einer constanten Temperatur von 16—18° im Schatten austrocknen, was bei den Prismen zum Teil schon nach 5 Tagen oder auch erst nach 15 Tagen der Fall war. Die Abmessung erfolgte mittelst schmaler, dem Millimeterpapier entnommener Streifen unter Mitbenutzung der Lupe.

Aus den Ergebnissen seiner Versuche leitet Haberlandt folgende Sätze ab:

1. Die Extreme der Volumveränderungen, welche der Boden erleidet, schwanken innerhalb ziemlich weiter Grenzen, und zwar in Prozenten des ursprünglichen Volumens der feuchten und festgelagerten Erde ausgedrückt, zwischen 0 und 30.
2. Überhaupt aber sind solche Volumveränderungen nur messbar an Böden, die in festerem Gefüge liegen; ein gekrümelter lockerer Boden lässt sie nicht wahrnehmen.
3. Den grössten Einfluss auf die Schwendung des austrocknenden Bodens üben die quellungsfähigen Substanzen derselben aus, vor Allem der Humus.
4. Es ist wahrscheinlich, dass die Volumveränderungen des Bodens auch zu dem Feinheitsgrade seiner einzelnen Bestandteile in einem geraden Verhältnis stehen, doch ist letzteres vielleicht nur dann der Fall, wenn diesen feineren Teilen ein gewisser Grad der Quellungsfähigkeit zukommt. In den von A. R. von Schwarz[1] angestellten Versuchen begegnen wir wieder den Erdwürfeln wie sie Haberland[2] benutzte; auch bringen seine Resultate nichts Neues.

Wenngleich aus den mitgeteilten Versuchsergebnissen bereits deutlich hervorgeht, welche Bodenelemente bei den Volumveränderungen der Ackerkrume den hervorragendsten Anteil nehmen, so war durch dieselben doch keineswegs allen Verhältnissen Rechnung getragen, welche sowohl bei natürlicher Lagerung der Boden-

---

1) A. R. von Schwarz, Erster Bericht über die Arbeiten d. K. K. landw. Versuchsstation Wien in den Jahren 1870—1877.
2) Siehe S. 9.

partikel, als bei der durch die Bearbeitung und Bedeckung des Erdreichs hervorgerufenen obwalten. Die in dieser Richtung bestehenden Lücken wurden von E. Wollny[1] ausgefüllt, indem er unter Berücksichtigung der Experimente v. H. Puchner[2] diesen Gegenstand einer eingehenden Untersuchung unterwarf. Sein eigens hierzu konstruierter Apparat sei hier kurz beschrieben. Ein Gefäss von 5 cm Durchmesser und 2,5 cm Höhe, mit einem durchlöcherten Boden versehen, diente zur Aufnahme des Versuchsmaterials und stand in einem weiteren Gefäss, welches bis zum Boden des ersteren auf constanter Höhe mittelst einer Zu- und Abflussvorrichtung mit destilliertem Wasser gefüllt werden konnte. Auf der Oberfläche des Erdreichs, welche nach der Beschickung mit dem Rande des Gefässes abgeglichen war, lag eine durch ein Gegengewicht belancierte Platte mit einer Stange. Die an dem oberen Ende angebrachte Verzahnung stand mit einem kleinen sorgfältig gearbeiteten Zahnrade in Verbindung, an dessen Achse sich ein über eine Scheibe drehbarer Zeiger befand. Bei der Zusammenziehung oder Ausdehnung des Bodens bewegte sich letzterer über die an der Peripherie der Scheibe angebrachte Skala, welche in 360 Grade geteilt war, von welchen jeder einer Verschiebung der Stange in vertikaler Richtung von 0,039 mm entsprach.

---

1) E. Wollny, Fortschritt auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik 1897, Bd. XX.

2) H. Puchner, Fortschritt auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik, Bd. XIX 1896 S. 13.

Mittels dieses Apparates war es natürlich nur möglich, die Volumveränderungen in senkrechter Richtung genau zu messen, während jene in horizontaler Richtung gesondert festgestellt werden mussten. Dies geschah mit Hülfe eines Millimetermasses, mit welchem der Durchmesser der Erdzylinder nach verschiedenen Richtungen unter Anwendung einer Lupe bestimmt wurde, sodass noch $^1/_{10}$ mm abgelesen werden konnte.

Die Versuchsmaterialien wurden zunächst in trockenem Zustande eingefüllt bis über den Rand des Gefässes, worauf letzteres in gleichmässiger Weise in allen Versuchen auf eine Tischplatte aufgestossen und schliesslich die Oberfläche der betreffenden Erdart mittels einer scharfkantigen eisernen Schiene mit dem Rande des Gefässes abgeglichen wurde. Unter solchen Umständen behielt der Boden eine mässig lockere Beschaffenheit. Nunmehr wurde die Platte behutsam auf die Oberfläche des Bodens herabgelassen, der Stand des Zeigers an der Skala abgelesen und destilliertes Wasser in der oben beschriebenen Weise in das Gefäss eingeführt. Bei der hierauf folgenden Anfeuchtung zeigten sämtliche Böden sowohl in vertikaler, als auch meistenteils in horizontaler Richtung eine Volumveränderung, welche bei der durch Entfernung des Wassers nach erfolgter Sättigung und durch Stehenlassen des Apparates an einem ruhigen Ort eines mässig temperierten Zimmers eintretenden Austrocknung eine weitere Steigerung erfuhr. Die Messungen wurden erst, nachdem sich keine Volumveränderung mehr nachweisen liess, d. h. der Boden vollständig lufttrocken geworden war, vorgenommen. Die Ver-

dunstung der Feuchtigkeit nahm wegen des geringen Umfanges der Bodenoberfläche einen ziemlich langen Zeitraum in Anspruch, derart, dass die Versuche, zu deren Ausführung nur ein Apparat zur Verfügung stand, sich auf Jahre erstreckten.

Die Versuchsanstellung im Speziellen sei hier übergangen und nur die Resultate wörtlich wiedergegeben, soweit dieselben an dieser Stelle für uns Interesse bieten.

1. Bei normaler Bearbeitung, d. h. bei Herbeiführung der Krümelstruktur, erfährt der Boden eine Volumvermehrung, welche je nach der physikalischen Beschaffenheit derselben ca. 15—40 %, bezogen auf das Volumen im dichten Zustande, beträgt.

2. Die betreffende Volumzunahme ist im Allgemeinen um so grösser, je reicher der Boden an thonigen und humosen und je ärmer er an sandigen Bestandteilen ist. Bei den Sandböden nimmt das Volumen derselben unter den bezeichneten Umständen in dem Masse zu, als die Körnchen feiner sind und umgekehrt.

3. Die durch Lockerung hervorgerufene Volumveränderung des Erdreiches ist beträchtlicher, wenn letzteres gekrümelt wird, als in dem Falle, wo es eine pulverförmige Beschaffenheit erhält.

4. Der gelockerte Boden erfährt durch die Anfeuchtung an sich, namentlich aber durch die seitens der atmosphärischen Niederschläge ausgeübten mechanischen Wirkungen eine Verminderung in seinem Volumen bis zu dem Punkt, wo die dichteste Aneinanderlagerung der Bodenteilchen erreicht ist.

5. Bei dichtester Lagerung der Partikel hat die Anfeuchtung eine Ausdehnung (Expansion) und die Austrocknung eine Zusammenziehung (Kontraktion) der Bodenmasse zur Folge. Die bezüglichen Volumveränderungen sind bei dem Humus am grössten, dann folgt in absteigender Reihe der Thon, während der Sand die geringste und bei genügender Grobkörnigkeit keinerlei Zu- resp. Abnahme seines Volumens aufzuweisen hat. Unter den übrigen Bestandteilen des Bodens, welche ihr Volumen in einem weit schwächeren Grade als der Thon verändern, weist das Eisenoxydulhydrat die grössten, der kohlensaure Kalk geringere Schwankungen in der Raumerfüllung auf. Letztere sind denen des feinen Quarzes ähnlich; der schwefelsaure Kalk nimmt die letzte Stelle ein, da er nur höchst unbedeutenden Wandlungen in seinem Volumen unterliegt. Der Einfluss der Grösse der Partikel bei den Sandsorten lässt sich dahin präzisieren, dass dieselben innerhalb gewisser Grenzen sich umsomehr ausdehnen und zusammenziehen, je feinkörniger sie sind.

6. Der Einfluss von Hydraten und Salzen auf die Volumveränderungen der thonreichen Böden tritt in der Weise in die Erscheinung, dass die Kontraktion der lockeren Masse bei der Anfeuchtung und nachfolgenden Austrocknung bei Gegenwart von Alkalikarbonaten am stärksten ist, geringer bei derjenigen von Chloriden und Nitraten und am geringsten in dem Fall, wo dem Erdreich Kalkhydrat beigemischt ist. Die bei dichter Lagerung der Partikel nach der Anfeuchtung erfolgende Expansion des Bodens ist bei dem Vorhandensein der bezeichneten chemischen Agentien um so grösser, je

stärker die Kontraktion der lockeren Masse infolge der Anfeuchtung und Austrocknung war und umgekehrt.

7. Eine Volumvermehrung des Bodens unter natürlichen Verhältnissen macht sich nur bemerkbar, wenn durch abwechselnde Anfeuchtung und Austrocknung, besonders aber durch das Gefrieren des Bodens eine Agregatbildung veranlasst wird. Die Beständigkeit der hierbei entstandenen Krümel wird namentlich durch die Gegenwart von Kalk verstärkt.

Referent hat sich nun die Aufgabe gestellt, die Volumveränderungen, welche verschiedene Bodenarten bei Behandlung mit Salzlösungen erfahren, eingehend zu studieren, und eine grössere Anzahl von Ackerböden in bezug auf ihre Kontraktion und Expansion zu untersuchen; ferner zu prüfen wie sich durch Kalk (nach Form und Menge) physikalisch schlechter, z. B. zu dichter und fester Boden, verbessern lässt, welchen Raumveränderungen die Kalk- und Mergelarten überhaupt unterliegen und wie die Witterungseinflüsse bei schweren Bodenarten in dieser Beziehung wirken.

II.

Versuchsanstellung im Allgemeinen.

Als Gefässe zur Bestimmung der Volumveränderungen der Erdarten dienten ausschliesslich Büretten von 250 ccm Inhalt, die einen Durchmesser von 2 cm besassen und in $^1/_2$ ccm Grade geteilt waren.

Ein genau in jede Glasröhre passender mit Drahtnetz oben verschlossener Blechzylinder, auf den eine dünne Asbestschicht aufgelegt war, diente als Boden. Die auf diese Weise hergestellten Gefässe wurden mit einer Erdmenge beschickt, welche 100 g Trockensubstanz entsprach und durch ein Sieb von 1 mm Maschenweite getrieben war. Die Versuchserde wurde vorsichtig eingeschüttet, das Bodenvolum im lockeren Zustande (lockeres trocknes Volum) durch Ablesen bestimmt, hierauf die Bürette so lange auf einer Lederunterlage leicht aufgestossen, bis keine Volumverminderung mehr eintrat und die Feststellung des jetzigen Volumens (dichtes trocknes Volum) mit Sicherheit bewerkstelligt werden konnte. Hierin weicht also die Methode von der Haberlandt'schen[1] ab, die das feste Volum durch Austrocknung bestimmte. Nunmehr

1) S. S. 9.

wurden 100 ccm Flüssigkeit (Wasser resp. Salzlösung) aufgegossen, die Röhre mit einem Wattepfropfen leicht verschlossen, um die Verdunstung zu verhindern, und, nachdem die nicht capillar gebundene Flüssigkeit beinahe abgeflossen war, die Volumveränderung abermals konstatiert (lockeres feuchtes Volum). [Haberlandt liess die Flüssigkeit von unten her auf das lockere Volum einwirken.] Bei leichten Böden lief die Flüssigkeit in einigen Stunden durch, während schwer durchlässige Bodenarten Tage und Wochen, reiner Thon sogar Monate dem Durchfluss widerstanden.

Nach vollständigem Ablauf des Wassers resp. der Salzlösung wurde, wie oben beschrieben, durch mechanisches Einrütteln das Volumen (dichtes feuchtes Volum) abermals festgestellt. Bei leichten Böden musste dies sofort getan werden, da sonst keine einheitlichen Zahlen erzielt werden konnten. Bei schweren Erden musste die Luftpumpe zu Hülfe genommen werden, um die Luftblasen aus der durchfeuchteten Erde zu entfernen. Alle Versuche wurden im Zimmer ausgeführt und auf kleine unwesentliche Temperaturschwankungen keine Rücksicht genommen.

III.
Versuchsanstellung im Speziellen.

A. Volumveränderungen bei Behandlung mit Salzlösungen.

Behufs Fesstellung des Einflusses chemischer Agentien auf die Volumveränderung der Böden wurden solche Salze ausgewählt, welche als Düngesalze verwendet werden. Die auf die einzelnen Bodenarten durch Salzlösungen hervorgerufenen Volumveränderungen können aus nachstehenden Tabellen ersehen werden.

Tabelle No. 1

angewandt 100,50 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Sandboden + 100 ccm Chlorkaliumlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mech. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
H_2O	73,50	62,80	63,25	61,00	— 10,70	+ 0,45	— 2,25	— 1,80
$^1/_5$ %		62,40	62,90	59,80		+ 0,50	— 3,10	— 2,60
$^1/_2$ %		62,20	62,70	59,40		+ 0,50	— 3,30	— 2,80
1 %		62,30	62,80	59,40	— 11,15	+ 0,50	— 3,40	— 2,90
2 %		62,50	63,00	59,50		+ 0,50	— 3,50	— 3,00
5 %		62,35	62,90	60,05		+ 0,55	— 2,85	— 2,30

Tabelle No. 2

angewandt 100,50 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Sandboden + 100 ccm Clorammoniumlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mech. Einrütteln	Differenz nach Volum I u. II	Differenz nach Volum II u. III	Differenz nach Volum III u. IV	Differenz nach Volum II u IV
H_2O	73,50	62,80	63,25	61,00	— 10,70	+ 0,45	— 2,25	— 1,80
$^1/_5$ %		62,60	63,10	60,50		+ 0,50	— 2,60	— 2,10
$^1/_2$ %		62,50	63,00	60,00		+ 0,50	— 3,00	— 2,50
1 %		62,75	63,30	59,75	— 10,86	+ 0,55	— 3,55	— 3,00
2 %		62,65	63,15	59,20		+ 0,50	— 3,95	— 3,45
5 %		62,70	63,15	60,70		+ 0,45	— 2,45	— 2,00

Tabelle No. 3

angewandt 100,50 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Sandboden + 100 ccm Chlornatriumlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mech. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
H_2O	73,50	62,80	63,25	61,00	— 10,70	+ 0,45	— 2,25	— 1,80
$^1/_5$ %		62,75	63,15	60,60		+ 0,40	— 2,55	— 2,15
$^1/_2$ %		62,55	63,05	60,15		+ 0,50	— 2,90	— 2,40
1 %		62,50	63,10	59,70	— 10,88	+ 0,60	— 3,40	— 2,80
2 %		62,60	63,10	60,00		+ 0,50	— 3,10	— 2,60
5 %		62,70	63,20	59,75		+ 0,50	— 3,45	— 2,95

Tabelle No. 4

angewandt 100,50 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Sandboden + 100 ccm Chlormagnesiumlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mech. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
H_2O	73,50	62,80	63,25	61,00	— 10,70	+ 0,45	— 2,25	— 1,80
$^1/_5$ %		62,50	62,90	61,25	— 10,89	+ 0,40	— 1,65	— 1,25
$^1/_2$ %		62,50	63,00	61,20		+ 0,50	— 1,80	— 1,30
1 %		62,80	63,40	61,55		+ 0,60	— 1,85	— 1,25
2 %		62,70	63,20	61,00		+ 0,50	— 2,20	— 1,70
5 %		62,55	63,10	60,40		+ 0,55	— 2,70	— 2,15

Tabelle No. 5

angewandt 100,50 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Sandboden + 100 ccm Chlorcalciumlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mechan. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
H_2O	73,70	62,80	63,25	61,00	− 10,70	+ 0,45	− 2,25	− 1,80
$^1/_5$ %		62,20	62,70	60,90		+ 0,50	− 1,80	− 1,30
$^1/_2$ %		62,50	63,05	61,25		+ 0,55	− 1,80	− 1,25
1 %		62,80	63,40	61,50	− 10,98	+ 0,60	− 1,90	− 1,30
2 %		62,50	63,05	60,95		+ 0,55	− 2,10	− 1,55
5 %		62,60	63,10	60,70		+ 0,50	− 2,40	− 1,90

Tabelle No. 6

angewandt 100,50 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Sandboden + 100 ccm Kaliumnitratlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mechan. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
H_2O	73,50	62,80	63,25	61,00	— 10,70	+ 0,45	2,25	— 1,80
$^1/_5$ %		62,70	63,10	60,80		+ 0,40	— 2,30	— 1,90
$^1/_2$ %		62,55	63,00	59,95		+ 0,45	— 3,05	— 2,60
1 %		62,20	62,70	59,50	— 10,98	+ 0,50	— 3,20	— 2,70
2 %		62,50	63,00	59,50		+ 0,50	— 3,50	— 3,00
5 %		62,65	63,20	59,30		+ 0,55	— 3,90	— 3,35

Tabelle No. 7

angewandt 100,50 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Sandboden + 100 ccm Ammoniumnitratlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht, (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mechan. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
H_2O	73,50	62,80	63,25	61,00	— 10,70	+ 0,45	— 2,25	— 1,80
$^1/_5$ %		62,95	63,35	61,10		+ 0,40	— 2,25	— 1,85
$^1/_2$ %		62,60	63,10	60,70		+ 0,50	— 2,40	— 1,90
1 %		62,20	62,70	60,10	— 10,85	+ 0,50	— 2,60	— 2,10
2 %		62,70	63,20	60,30		+ 0,50	— 2,90	— 2,40
5 %		62,80	63,30	60,10		+ 0,50	— 3,20	— 2,70

Tabelle No. 8

angewandt 100,50 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Sandboden + 100 ccm Natriumnitratlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mechan. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
H_2O	73,50	62,80	63,25	61,00	— 10,70	+ 0,45	— 2,25	— 1,80
$^1/_5$ %		62,50	62,90	61,10	— 11,05	+ 0,40	— 1,80	— 1,40
$^1/_2$ %		62,50	62,90	60,10		+ 0,40	— 2,80	— 2,40
1 %		62,50	63,00	60,00		+ 0,50	— 3,00	— 2,50
2 %		62,25	62,75	59,25		+ 0,50	— 3,50	— 3,00
5 %		62,50	63,00	59,30		+ 0,50	— 3,70	— 3,20

Tabelle No. 9

angewandt 100,50 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Sandboden + 100 ccm Kaliumcarbonatlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mechan. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
H_2O	73,50	62,80	63,25	61,00	— 10,70	+ 0,45	— 2,25	— 1,80
$^1/_5$ %		62,75	63,35	61,00		+ 0,60	— 2,35	— 1,75
$^1/_2$ %		62,10	62,70	60,30		+ 0,60	— 2,40	— 1,80
1 %		62,60	63,30	61,00	— 10,94	+ 0,70	— 2,30	— 1,60
2 %		62,70	63,50	61,00		+ 0,80	— 2,50	— 1,70
5 %		62,65	63,55	60,75		+ 0,90	— 2,80	— 1,90

Tabelle No. 10

angewandt 100,50 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Sandboden + 100 ccm Kaliumsulfatlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mechan. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
H_2O	73,50	62,80	63,25	61,00	— 10,70	+ 0,45	— 2,25	— 1,80
$^1/_5$ %		62,60	63,00	61,30		+ 0,40	— 1,70	— 1,30
$^1/_2$ %		62,30	62,80	60,85		+ 0,50	— 1,95	— 1,45
1 %		62,45	62,95	60,95	— 11,02	+ 0,50	— 2,00	— 1,50
2 %		62,50	63,00	60,30		+ 0,50	— 2,70	— 2,20
5 %		62,55	63,05	60,05		+ 0,50	— 3,00	— 2,50

Tabelle No. 11

angewandt 100,50 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Sandboden + 100 ccm Ammoniumsulfatlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mechan. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
H_2O	73,50	62,80	63,25	61,00	10,70	+ 0,45	— 2,25	— 1,80
$^1/_5$ %		62,50	62,90	61,10		+ 0,40	— 1,80	— 1,40
$^1/_2$ %		62,65	63,15	61,15		+ 0,50	— 2,00	— 1,50
1 %		62,50	63,10	60,65	— 10,96	+ 0,60	— 2,45	— 1,85
2 %		62,45	63,05	59,95		+ 0,60	— 3,10	— 2,50
5 %		62,60	63,20	60,60		+ 0,60	— 2,60	— 2,00

Tabelle No. 12

angewandt 100,50 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Sandboden + 100 ccm Natriumsulfatlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker	Volum II dicht	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mechan. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
	trocken							
H_2O	73,50	62,80	63,25	61,00	— 10,70	+ 0,45	— 2,25	— 1,80
$^1/_5$ %		62,70	63,20	61,60		+ 0,50	— 1,60	— 1,10
$^1/_2$ %		62,20	62,70	60,90		+ 0,50	— 1,80	— 1,30
1 %		62,80	63,30	61,20	— 10,95	+ 0,50	— 2,10	1,60
2 %		62,50	63,10	60,80		+ 0,60	— 2,30	— 1,70
5 %		62,55	63.10	60,50		+ 0,55	— 2,60	— 2,05

Tabelle No. 13

angewandt 100,50 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Sandboden + 100 ccm Magnesiumsulfatlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mechan. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
H_2O	73,50	62,80	63,25	61,00	— 10,70	+ 0,45	— 2,25	— 1,80
$^1/_5$ %		62,80	63,30	60,60		+ 0,50	— 2,70	— 2,20
$^1/_2$ %		62,50	63,00	60,20		+ 0,50	— 2,80	— 2,30
1 %		62,75	63.20	60,10	— 11,01	+ 0,45	— 3,10	— 2,65
2 %		61,90	62,35	58,95		+ 0,45	— 3,40	— 2,95
5 %		62,50	63,00	60,30		+ 0,50	— 2,70	— 2,20

Tabelle No. 14

angewandt 100,50 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Sandboden + 100 ccm Kainitlösung (enth. 13,10% K_2O).

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mechan. Einrütteln	Differenz I u. II	Differenz II u. III	Differenz III u. IV	Differenz II u. IV
H_2O	73,50	62,80	63,25	61,00	− 10,70	+ 0,45	− 2,25	− 1,80
1/5%		62,30	62,80	60,10		+ 0,50	− 2,70	− 2,20
1/2%		62,50	63,05	59,80		+ 0,55	− 3,25	− 2.70
1%		62,60	63,10	59,50	− 11,03	+ 0,50	− 3,60	− 3,10
2%		62,45	62,95	59,15		+ 0,50	− 3,80	− 3,30
5%		62,50	63,00	59,60		+ 0,50	− 3,40	− 2,90

Tabelle No. 15

angewandt 100,50 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Sandboden + 100 ccm Karnallitlösung (enth. 11,50 % K_2O).

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mechan. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
H_2O	73,50	62,80	63,25	61,00	— 10,70	+ 0,45	— 2,25	— 1,80
1/5 %		62,90	63,90	61,20		+ 0,70	2,40	— 1,70
1/2 %		62,70	63,35	61,00		+ 0,65	— 2,35	— 1,70
1 %		62,50	63,20	60,80	— 10,89	+ 0,70	— 2,40	— 1,70
2 %		62,65	63,30	61,00		+ 0,65	— 2.30	— 1,65
5 %		62,30	62,95	60,10		+ 0,65	— 2,85	— 2,20

Die Expansion des Sandbodens, hervorgerufen durch die Anfeuchtung mit Salzlösungen, scheint von der Konzentration der angewandten Flüssigkeit nicht abhängig zu sein, während die Grösse der Kontraktion bis zu einem gewissen Grade direkt proportional der Konzentration der Lösung geht. Diese Wirkungen werden zwar unter natürlichen Verhältnissen nicht in so prägnanter Weise auftreten, weil der Gehalt des Bodens an Salzen, selbst nach reichlicher Zufuhr, bei Weitem nicht so gross ist, wie bei diesen Versuchen. Allerdings kann es ausnahmsweise beim Ausstreuen von Düngesalzen vorkommen, dass ein ungemahlener Salzklumpen zur Erde fällt, sich in wenig Wasser durch Regen oder Tau auflöst und auf diese Weise eine erheblich konzentrierte Lösung liefert. Es äussern sich schon sehr verdünnte Lösungen, wenn auch in schwächerem Grade, wie dies nach den Untersuchungen von E. W. Hilgard und A. Meyer angenommen werden darf, welche fanden, dass schon kleine Dosen von Hydraten und Salzen eine verschiedene Lagerung in dem angegebenen Sinne herbeizuführen vermögen. Um eine Übersicht zu gewinnen, welche Unterschiede die einzelnen Salzlösungen in Bezug auf die Volumveränderung des Sandbodens zeigen, diene folgende Durchschnittstabelle. (Tabelle 16.)

Demnach zeigte der Sandboden, mit destilliertem Wasser behandelt, kaum eine merklich geringere Expansion als durch Salzlösungen, während die Kontraktion etwas niedriger liegt als das Mittel der für Salzlösungen gefundenen Zahlen. Die Chloride der Alkalien und alkalischen Erden weisen eine stärkere

Tabelle No. 16

Zusammenstellung der Volumveränderungen des Sandbodens bei Behandlung mit Salzlösungen.

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mechan. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
H_2O		62,80	63.25	61,00	— 10,70	+ 0,45	— 2,25	— 1,80
K-Cl		62,35	62,86	59,63	— 11,15	+ 0,51	— 3,23	— 2,72
NH_4Cl		62,64	63,14	60,03	— 10,86	+ 0,50	— 3,11	— 2,61
Na Cl		62,62	63,12	60,04	— 10,88	+ 0,50	— 3,08	— 2,58
$Mg\ Cl_2$		62,61	63,12	61,08	— 10,89	+ 0,51	— 2,04	— 1,53
$Ca\ Cl_2$		62,52	63,06	61,06	— 10,98	+ 0,54	— 2,00	— 1,46
$K\text{-}NO_3$		62,52	63,00	59,81	— 10,98	+ 0,48	— 3,19	— 2,71
$NH_4\ NO_3$	73,50	62,65	63,13	60,46	— 10,85	+ 0,48	— 2,67	— 2,19
$Na\ NO_3$		62,45	62,91	59,95	— 11,05	+ 0,46	— 2,96	— 2,50
$K_2\ CO_3$		62,56	63,28	60,81	— 10,94	+ 0,72	— 2,47	— 1,75
$K_2\ SO_4$		62,48	62,96	60,69	— 11,02	+ 0,48	— 2,27	— 1,79
$(NH_4)_2\ SO_4$		62,54	63,08	60,60	— 10,96	+ 0,54	— 2,39	— 1,85
$Na_2\ SO_4$		62,55	63,08	61,00	— 10,95	+ 0,53	— 2,08	— 1,55
$Mg\ SO_4$		62,49	62,97	60,03	— 11,01	+ 0,48	— 2,94	— 2,46
Kainit		62,47	62,98	59,63	— 11,03	+ 0,51	— 3,35	— 2,84
Karnallit.		62,61	63,28	60,82	— 10,89	+ 0,67	— 2,46	— 1,79

Expansion auf als die Nitrate derselben. Durchschnittlich erfuhr der Boden durch die Sulfate ungefähr die gleiche Ausdehnung wie durch die Chloride, während kohlensaures Kalium die stärkste Volumvermehrung aufzuweisen hatte. Der Grund hierfür liegt darin, wie weiter unten noch eingehend erörtert werden wird, dass der zur Anwendung gelangte Sandboden, welcher der Versuchsstation Rostock entnommen worden war, geringe Mengen organischer Substanz enthielt. Die Doppelsalze Kainit und Karnallit verhielten sich nicht so, wie man nach ihrer Zusammensetzung vermuten sollte, sondern zeigten eine etwas grössere Expansion wie jeder ihrer Komponenten.

($K_2SO_4 + MgSO_4$ bez. $KCl, NaCl + MgSO_4$).

Was nun die Kontraktion des mit Salzlösungen behandelten Sandbodens anbelangt, steht Kainit obenan. Es folgen dann in absteigender Reihe die Chloride der Alkalien, Magnesiumsulfat, die Nitrate, Karnallit, die Sulfate, kohlensaures Kalium und zuletzt die Chloride der alkalischen Erden.

Es schien nun interessant, zu untersuchen, welche Ursachen diese Volumveränderungen bedingen, ob Absorption, chemische Umsetzungen, Verschlemmung etc. eintreten, oder ob gar physikalische und chemische Kräfte hier zusammenwirken.

Behufs dieser Feststellung gelangte ein von organischen Stoffen freier sandiger Untergrundboden von der Versuchsstation Rostock zur Anwendung, ferner feiner Wellsand aus einem Brunnen und schliesslich Seesand, der durch Behandlung mit konzentrierter Salzsäure und Ausglühen von organischen Stoffen und

allen in Säure löslichen Mineralstoffen befreit war. Diese 3 Materialien wurden mit Wasser resp. Natronsalpeterlösung behandelt und schlossen sich den Versuchen an, welche in A. I näher beschrieben sind. Über die Unterschiede in der Expansion und Kontraktion geben nachstehende Tabellen nähere Auskunft. (Tabellen 17—20.)

Die Zahlen zeigen, dass der Wellsand, der nur sehr minimale Mengen in Salzsäure löslicher Mineralbestandteile enthält, und selbst der mit Salzsäure ausgezogene Seesand eine, wenn auch kleine, Volumvermehrung bei der Anfeuchtung mit Salzlösungen aufzuweisen haben. Es erfährt der feinkörnigere mit Salzsäure ausgezogene Seesand eine etwas stärkere Ausdehnung unter Flüssigkeit wie der Schlemmsand, während der Untergrundsand, der am grobkörnigsten war und das grösste lockere und feste Volum aufwies, in dieser Hinsicht mit den beiden andern nicht verglichen werden kann. Gerade dieser körnige Sand bot aber insofern ein Interesse, als bei ihm die grösste Volumverminderung durch mechanisches Einrütteln zu konstatieren war, wie die Durchschnittstabelle Nr. 20 deutlich vor Augen führt. Diese Tatsache erkläre ich mir folgendermassen.

Durch die Einwirkung von Salzlösungen auf den Boden werden die kleinsten Sandteilchen, die durch Kalk u. s. w. miteinander festverklebt waren, gelockert dadurch, dass der Kitt durch chemische Umsetzungen zwischen ihnen gelöst wird. Beim Rütteln der Bürette findet dann eine engere Aneinanderlagerung der Teilchen resp. eine Verschlemmung statt. Concentriertere Salzlösungen wirken selbstverständlich in diesem Sinne besser und intensiver auf den Sand ein, wie verdünntere,

Tabelle No. 17

angewandt 100,56 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Untergrundboden + 100 ccm Natriumnitratlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mechan. Rütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
H_2O	78,20	66,80	67,40	64,30	— 11,40	+ 0,60	— 3,10	— 2,50
$^1/_2$ %	79,20	66,80	67,30	64,00	— 12,40	+ 0,50	— 3,30	— 2,80
1 %	78,70	66,95	67,60	64,20	— 11,75	+ 0,65	— 3,40	— 2,75
5 %	78,80	67,10	67,85	63,30	— 11,70	+ 0,75	— 4,55	— 3,80
10 %	78,10	66,25	67,15	63,15	— 11,85	+ 0,90	— 4,00	— 3,10

Tabelle No. 18

angewandt 100,36 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Wellsand + 100 ccm Natriumnitratlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mechan. Rütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
H_2O	77,90	65,80	65,80	62,60	— 12,10	+ 0,00	— 3,20	— 3,20
$^1/_2$ %	78,80	65,30	65,40	62,50	— 13,50	+ 0,10	— 2,90	— 2,80
1 %	77,50	65,00	65,05	61,40	— 12,50	+ 0,05	— 3,65	— 3,60
5 %	77,80	66,00	66,10	62,80	— 11,80	+ 0,10	— 3,30	— 3,20
10 %	77,70	65,90	66,00	61,90	— 11,80	+ 0,10	— 4,10	— 4,00

Tabelle No. 19

angewandt 100,21 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) mit Salzsäure ausgezogener und geglühter Seesand + 100 ccm Natriumnitratlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker	Volum II dicht	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mechan. Rütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
	trocken							
H_2O	70,50	62,40	62,65	62,40	— 8,10	+ 0,25	— 0,25	+ 0,00
$^1/_2$ %	70,10	62,75	62,95	62,75	— 7,35	+ 0,20	— 0,20	+ 0,00
1 %	69,60	62,00	62,20	62,00	— 7,60	+ 0,20	— 0,20	+ 0,00
5 %	69,70	62,45	62,70	62,45	— 7,25	+ 0,25	— 0,25	+ 0,00
10 %	70,00	62,50	62,70	62,45	— 7,50	+ 0,20	— 0,25	— 0,05

Tabelle No. 20.

Zusammenstellung der Durchschnittszahlen der 3 Sandböden bei Behandlung mit Natriumnitratlösung.

Art des Sandbodens	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mechan. Rütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
Untergrundsandboden	78,70	66,78	67,47	63,66	— 11,92	+ 0,70	— 3,81	— 3,12
Schlemmboden	77,95	65,55	65,64	62,15	— 12,40	+ 0,09	— 3,49	— 3,40
ausgezogener Seesand	69,85	62,43	62,64	62,41	— 7,42	+ 0,21	— 0,23	— 0,02

daher die grössere Kontraktion nach Ablauf einer stärkeren Lösung. Der durch Salzsäure ausgezogene Seesand, welcher von äusserst feiner Struktur war, zeigte fast gar keine Kontraktion mehr. Was nun die Behandlung der Sandarten mit Wasser anbelangt, so wird durch diese Versuche bewiesen, dass beim Untergrundsand eine schwächere, beim Wellsand fast die gleiche und beim feinen Seesand genau dieselbe Kontraktion auftritt, wie durch Salpeterlösung. Wasser und Salzlösung bewirken bei den beiden zuletzt genannten Sandsorten also die gleiche Volumveränderung und zwar deshalb, weil keine löslichen resp. umsetzungsfähigen Salze vorhanden sind. Der Vorgang der Kontraktion durch Salzlösungen ist demnach wahrscheinlich durch chemische und physikalische Ursachen begründet. Zuerst Lösung resp. Umsetzung und in zweiter Linie Verdichtung und Verschlemmung.

So unvollständig die Theorie der letztgenannten Vorgänge noch sein mag, so weitreichend sind die praktischen Folgerungen. Die Praktiker unterscheiden bekanntlich zweierlei Schädigungen in Folge der Überströmung der Böden durch Seewasser.

I. Direkte Schädigung des Pflanzenwuchses, indem Kali, Kalk und Magnesia durch den grossen Salzgehalt, in äquivalenter Menge gelöst und in den Untergrund geführt werden.

II. Nachteiliges Dichtschlämmen des Bodens, oft erst im zweiten Jahre nach der Überschwemmung.

Letzteres scheint am schädlichsten zu wirken.[1]

1) Vgl. A. Meyer, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik, Bd. II p. 251 u. p. 271 u. Sachse u. Becker, Landw. Versuchsstation, Bd. 43 p. 15.

Betrachten wir die schädlichen Bestandteile der Gewässer wie Chlornatrium, Chlormagnesium, Chlorcalcium usw., wie sie mitunter durch Berieselung mit Abwasser aus Steinkohlengruben, Salinen, Kalisalz-Bergwerken, Sodafabriken (nach dem Ammoniakverfahren) im Boden auftreten, so liegt es nahe, aus den vorstehenden Versuchen zu folgern, dass nicht nur das Ausgewaschenwerden von Kalk, Kali und Magnesia durch die Salzlösungen die Unfruchtbarkeit bedingt, sondern auch die Verschlemmung als wesentlicher Faktor mitspielt, die die Luftzufuhr zu den Wurzeln verstopft und dadurch den Boden physikalisch ungünstig gestaltet. Ein Gehalt von 0,1—0,25 % Chlornatrium im Boden wird als nachteilig angesehen; die Erträgnisse lassen nach. Kohlensaures Natron ist sehr schädlich z. B. in den ungarischen Pussta, wo es bei geringer Bodenfeuchtigkeit Unfruchtbarkeit hervorruft. Sprengel fand in einer unfruchtbaren Ackererde aus Portorico 0,66 % Na_2CO_3.

Die in der Praxis gefundenen Resultate, dass chlormagnesium- und chlorcalciumhaltige Wässer weniger schädlich wirken, als gelöstes Chlornatrium auf die Böden, stimmen mit diesen Versuchen vollkommen überein; denn die Chloride der alkalischen Erden verdichten nicht so stark die Struktur und verursachen dadurch eine weniger intensive Verschlemmung als das Chlornatrium.[1]

1) Siehe S. 36.

A. II und III.

Volumveränderung

von Lehm- und Thonboden bei Behandlung mit Salzlösungen.

Analyse des Lehmbodens.		Analyse des Tonbodens.	
Feuchtigkeit	= 0,958 %	Feuchtigkeit	= 0,647 %
K_2O	= 0,210 „	K_2O	= 0,320 „
Ca O	= 4,916 „	Ca O	= 0,523 „
Mg O	= 0,089 „	Mg O	= 0,022 „
SO_3	= 0,014 „	SO_3	= 0,018 „
P_2O_5	= 0,067 „	P_2O_5	= 0,070 „
N	= 0,007 „	N	= 0,006 „

Die experimentellen Prüfungen mit vorstehenden Erdarten ergaben, dass weder der Lehmboden noch der blaue Tonboden irgend welche Gesetzmässigkeiten bei der angewandten verschiedenen Salzkonzentration in Bezug auf ihre Volumveränderung erkennen liessen. Bei beiden Böden war kein genaues Ablesen zur Bestimmung des Volumens möglich nach Ablauf der Flüssigkeit resp. nach dem mechanischen Einrütteln. Selbst die Anwendung der Luftpumpe, um die ein-

geschlossenen Luftblasen[1] zu verdrängen, konnte manchmal nur wenig helfen. Es wurden nur leidlich übereinstimmende Resultate erzielt. Bald scheint mit der Konzentration der Lösung eine Volumzunahme, bald sich eine Abnahme bemerkbar zu machen; hie und da hat es sogar den Anschein, als ob diese schweren Böden überhaupt auf Salzlösungen nicht reagierten. Die Methode wies bei der Bestimmung der Kontraktion augenscheinlich noch mehr Fehler auf. Wenn auch hier die feineren Unterschiede in der Expansion und Kontraktion der schweren Böden durch Salzlösung sich nicht so präzis wie bei dem Sandboden vorführen lassen, so gewähren doch die Durchschnittszahlen der Bodenvolumina einen hinreichenden Einblick in diese Verhältnisse.

Ich unterlasse es daher, das umfangreiche Zahlenmaterial aus diesen Versuchen hier mitzuteilen und beschränke mich auf nachstehende Zusammenstellung in Tabelle 21 und 22.

Die Ursache für die Unterschiede der lockeren Volumina von ein und demselben Boden liegen, wie schon früher angedeutet, in der verschiedenen Krümelstruktur.[2] Diese Erscheinung wird unter dem Kapitel „Einflüsse der Witterung auf die Böden“ noch näher erörtert werden. Trotzdem der gesamte Lehmboden durch dasselbe Sieb von 1 mm Lochweite getrieben und in einer luftdicht verschlossenen Flasche aufbewahrt wurde, zeigte jeder Versuch eine andere Zahl

1) Vgl. Wollny, Agrikultur-Physik Bd. XIX 1896 S. 12.

2) Vgl. A. Mitscherlich, Fühlings landw. Zeitung 51 Heft 20 Schluss.

Tabelle No. 21.

Zusammenstellung der Volumveränderungen des Lehmbodens bei Behandlung mit Salzlösungen.

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mechan. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
H_2O	83,60	62,10	63,90	62,00	— 21,50	+ 1,80	1,90	— 0,10
K Cl	82,54	61,34	62.89	61,22	— 21,20	+ 1,55	— 1,67	— 0,12
NH_4 Cl	82,74	61,64	63,00	61,46	— 21,10	+ 1,36	— 1,54	— 0,18
Na Cl	83,02	62,05	63,50	61,84	— 20,97	+ 1,45	— 1,66	— 0,21
Mg Cl_2	82,24	61,76	63,30	61,52	— 20,48	+ 1,54	— 1,78	— 0,24
Ca Cl_2	82,76	62,25	63,75	62,03	— 20,51	+ 1,50	— 1,72	— 0,22
K NO_3	81,90	61,60	63,20	61,60	— 20,30	+ 1,60	— 1,60	— 0,00
NH_4 NO_3	82,76	62,01	63,36	61,79	— 20,75	+ 1,35	— 1,57	— 0,22
Na NO_3	83,06	61,87	63,47	62,11	— 21,19	+ 1,60	— 1,36	— 0,24
K_2 CO_3	81,80	61,63	62,82	61,05	— 20,17	+ 1,19	— 1,77	— 0,58
K_2 SO_4	82,32	61,34	62,56	61,22	— 20,98	+ 1,22	— 1,34	— 0,12
$(NH_4)_2SO_4$	82,06	61,51	62,81	61,17	— 20,55	+ 1,30	— 1,64	— 0,34
Na_2 SO_4	82,16	61,39	62,90	61,01	— 20,77	+ 1,51	— 1,89	— 0,38
Mg SO_4	82,48	61,63	63,32	61,50	— 20,85	+ 1,69	— 1,82	— 0,13
Kainit	82,22	61,19	63,06	61,34	— 21,03	+ 1,87	— 1,72	— 0,15
Karnallit	82,06	61,68	63,60	62,04	— 20,38	+ 1,92	— 1,56	+ 0,36

Tabelle No. 22.

Zusammenstellung der Volumveränderungen des Thonbodens bei Behandlung mit Salzlösungen.

Gehalt der Lösungen	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mechan. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
H_2O	75,80	59,00	60,10	59,00	— 16,80	+ 1,10	— 1,10	— 0,00
K Cl		60,23	61,64	59,78	— 15,57	+ 1,41	— 1,86	— 0,45
NH_4 Cl		60,31	61,62	59,87	— 15.49	+ 1,31	— 1,75	— 0,44
Na Cl		60,33	61,51	59,77	— 15,47	+ 1,18	— 1,74	— 0,56
Mg Cl_2		59,86	61,19	59,21	— 15,94	+ 1,33	— 1,98	— 0,65
Ca Cl_2		59,53	60,97	59,17	— 16,27	+ 1,44	— 1,80	— 0,36
K NO_3		60,52	61,81	59,96	— 15,28	+ 1,29	— 1,85	— 0,56
NH_4 NO_3		59,91	61,15	59,42	— 15,89	+ 1,24	— 1,73	— 0,49
Na NO_3		60,12	61,74	59,83	15,68	+ 1,62	— 1,91	— 0,29
K_2 CO_3		60,91	61,82	60,49	14,89	+ 0,91	— 1,33	— 0,42
K_2 SO_4		59,39	60,59	59,98	— 16,41	+ 1,20	— 1,61	— 0,41
$(NH_4)_2$ SO_4		59,90	61,08	59,36	— 15,90	+ 1,18	— 1,72	— 0,54
Na_2 SO_4		59,69	61,01	59,52	- 16,11	+ 1,32	— 1,49	— 0,17
Mg SO_4		59,54	61,27	59,05	— 16,26	+ 1,73	— 2,22	— 0,49
Kainit		59,06	60,51	58,46	- 16,74	+ 1,45	— 2,05	— 0,60
Karnallit		59,88	61,34	59,47	— 15,92	+ 1,46	— 1,87	— 0,41

im lockeren und dichten Zustande, bedingt durch die verschiedene Lagerung der mehr oder weniger zahlreich vertretenen feinen Staubteilchen, die sich zwischen die Körnchen einlegen und die kleinen Hohlräume ausfüllen. (Bei dem Thonboden wurde für das lockere Volum nur eine Durchschnittszahl aufgezeichnet.) Der Lehmboden weist ein grösseres lockeres und dichtes Volum auf wie der Thonboden, während nach der Behandlung mit Salzlösungen ersterer eine stärkere Expansion, letzterer eine grössere Kontraktion zeigt. In absteigender Reihe angeordnet hatte der Lehmboden durch Behandlung mit Salzlösungen folgende Expansion erfahren. Am stärksten durch Karnallit, dann folgten Kainit, Magnesiumsulfat, die Chloride der alkalischen Erden, die Sulfate, die Nitrate und die Chloride der Alkalien, zuletzt kohlensaures Kalium. Der Thonboden verhielt sich in dieser Beziehung etwas anders. Nach demselben Prinzip angeordnet zeigte hier Magnesiumsulfat die grösste Volumzunahme, es folgten Karnallit, Kainit, die Chloride der alkalischen Erden, die Nitrate, Chloride und Sulfate der Alkalien und kohlensaures Kalium, das gerade wie bei Lehm die geringste Ausdehnung unter Flüssigkeit aufwies. Die Kontraktion, bezogen auf das dichte Volumen, betrug bei dem mit Salzlösungen behandelten Sandboden ungefähr 3—4 %, bei dem Thonboden 0,8—0,9 % und bei Lehmboden ca. 0,4 %. In Bezug auf ihre Kontraktionserscheinungen bei Lehm- und Thonboden werden sich die Salze in absteigender Reihe folgendermassen gruppieren lassen.

Lehmboden.	Thonboden.
K_2CO_3	Kainit
Sulfate	Chloride der alk. Erden
Chloride der Erden	Magnesiumsulfat
Chloride der Alkalien	Chloride der Alkalien
Magnesiumsulfat	Sulfate „ „
Nitrate der Alkalien	Nitrate „ „
Kainit	Kaliumcarbonat
Karnallit	Karnallit

Kainit und Karnallit zeigten bei Lehmboden in Wirklichkeit keine Kontraktion, sondern Expansion. Der mit Wasser behandelte Lehm- und Thonboden erleidet eine kleinere Kontraktion, als sämtliche mit Salzlösungen behandelten Böden. Die Expansion bietet keine bemerkenswerte Abweichung.

III. A. 4.

Volumveränderung

von Humusboden bei Behandlung mit Salzlösungen.

Analyse des Humusbodens.

Feuchtigkeit	=	23,054 %
K_2O	=	0,018 %
CaO	=	17,51 %
MgO	=	0,206 %
SO_3	=	0,214 %
P_2O_5	=	0,732 %
N	=	0,518 %.

Als Versuchsmaterial diente ein humoser Wiesenboden von der Versuchsstation Rostock, der etwa 50 % organische Substanz enthielt. Folgende Tabellen veranschaulichen uns die Volumzunahme, die dieser Boden bei Behandlung mit Salzlösungen erfuhr.

Tabelle No. 23

angewandt 103,57 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Humusboden + 100 ccm Chlorkaliumlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	in Volumprozenten ausgedrückt: Differenz von I u. II	in Volumprozenten ausgedrückt: Differenz von II u. III
H_2O	133,20	117,30	120,65	— 15,90	+ 3,35	— 11,94	+ 2,85
$^1/_5$ %	127,70	106,50	109,20	— 21,20	+ 2,70	— 16,60	+ 2,53
$^1/_2$ %	132,60	109,90	112,70	— 22,70	+ 2,80	— 17,12	+ 2,55
1 %	132,65	112,95	115,70	— 19,70	+ 2,75	— 14,85	+ 2,43
2 %	130,10	110,30	113,60	— 19,80	+ 3,30	— 15,22	+ 2,99
5 %	129,30	105,20	108,50	— 24,10	+ 3,30	— 18,64	+ 3,13

Tabelle No. 24

angewandt 103,57 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Humusboden + 100 ccm Chlorammoniumlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	in Volumprozenten ausgedrückt: Differenz von I u. II	in Volumprozenten ausgedrückt: Differenz von II u. III
H_2O	133,20	117,30	120,65	15,90	+ 3,35	— 11,94	+ 2,85
$^1/_5$ %	130,80	108,25	111,60	— 22,55	+ 3,35	— 17,24	+ 3,09
$^1/_2$ %	139,50	115,10	118,45	— 24,40	+ 3,35	— 17,49	+ 2,91
1 %	129,40	109,30	113,25	— 20,10	+ 3,95	— 15,53	+ 3,62
2 %	135,20	111,55	115,30	— 23,65	+ 3,75	— 17,49	+ 3,36
5 %	128,60	108,40	112,10	— 20,20	+ 3,70	— 15,71	+ 3,41

Tabelle No. 25

angewandt 103,57 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Humusboden + 100 ccm Chlornatriumlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	in Volumprozenten ausgedrückt: Differenz von I u. II	in Volumprozenten ausgedrückt: Differenz von II u. III
H_2O	133,20	117,30	120,65	− 15,90	+ 3,35	− 11,94	+ 2,85
$^1/_5$ %	128,50	105,40	108,05	− 23,10	+ 2,65	− 17,98	+ 2,51
$^1/_2$ %	137,00	118,20	121,60	− 18,80	+ 3,40	− 13,73	+ 2,88
1 %	137,50	113,80	117,10	− 23,70	+ 3,30	− 17,24	+ 2,90
2 %	126,30	103,60	107,05	− 22,70	+ 3,45	− 17,97	+ 3,33
5 %	128,40	106,05	110,25	− 22,35	+ 4,20	− 17,41	+ 3,96

Tabelle No. 26

angewandt 103,57 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Humusboden + 100 ccm Chlormagnesiumlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker	Volum II dicht	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	in Volumprozenten ausgedrückt	
	trocken					Differenz von I u. II	Differenz von II u. III
H_2O	133,20	117,30	120,65	— 15,90	+ 3,35	— 11,94	+ 2,85
$^1/_5$ %	130,55	107,25	110,20	— 23,30	+ 2,95	— 17,82	+ 2,75
$^1/_2$ %	142,10	122,05	125,55	— 20,05	+ 3,50	— 14,11	+ 2,87
1 %	141,80	120,50	124,30	— 21,30	+ 3,80	— 15,02	+ 3,15
2 %	136,40	114,10	118,40	— 22,30	+ 4,30	— 16,35	+ 3,77
5 %	126,70	105,10	108,10	— 21,60	+ 3,00	— 17,05	+ 2,85

Tabelle No. 27

angewandt 103,57 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Humusboden | 100 ccm Chlorcalciumlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker	Volum II dicht	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	in Volumprozenten ausgedrückt	
	trocken					Differenz von I u. II	Differenz von II u. III
H_2O	133,20	117,30	120,65	− 15,90	+ 3,35	− 11,94	+ 2,85
$^1/_5$ %	125,60	101,50	104,95	− 24,10	+ 3,45	− 19,19	+ 3,40
$^1/_2$ %	138,10	116,10	120,00	− 22,00	+ 3,90	− 15,93	+ 3,36
1 %	133,20	112,10	115,10	− 21,10	+ 3,00	− 15,83	+ 2,68
2 %	143,20	118,40	121,65	− 24,80	+ 3,25	− 17,32	+ 2,74
5 %	149,20	122,75	126,20	− 26,45	+ 3,45	− 17,74	+ 2,81

Tabelle No. 28

angewandt 103,57 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Humusboden + 100 ccm Kaliumnitratlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	in Volumprozenten ausgedrückt: Differenz von I u. II	in Volumprozenten ausgedrückt: Differenz von II u. III
H_2O	133,20	117,30	120,65	— 15,90	+ 3,35	— 11,94	+ 2,85
$^1/_5$ %	128,30	104,50	108,00	— 23,80	+ 3,50	— 18,55	+ 3,35
$^1/_2$ %	122,50	103,95	107,20	— 18,55	+ 3,25	— 15,14	+ 3,13
1 %	135,50	111,40	114,45	— 24,10	+ 3,05	— 17,78	+ 2,74
2 %	130,20	112,25	114,80	— 17,95	+ 2,55	— 13,71	+ 2,27
5 %	147,20	122,10	124,70	— 25,10	+ 2,60	— 17,05	+ 2,09

Tabelle No. 29

angewandt 103,57 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Humusboden + ccm Ammoniumnitratlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker	Volum II dicht	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	in Volumprozenten ausgedrückt	
	trocken					Differenz von I u. II	Differenz von II u. III
H_2O	133,20	117,30	120,65	— 15,90	+ 3,35	— 11,94	+ 2,85
$^1/_5$ %	128,95	108,40	111,05	20,55	+ 2,65	— 15,93	+ 2,44
$^1/_2$ %	125,05	102,70	105,35	— 22,35	+ 2,65	— 17,87	+ 2,57
1 %	130,30	106,80	109,75	— 23,50	+ 2,95	— 18,03	+ 2,76
2 %	126,70	105,60	108,85	— 21,10	+ 3,25	— 16,65	+ 3,07
5 %	132,60	112,80	116,05	— 19,80	+ 3,25	— 14.93	+ 2,88

Tabelle No. 30

angewandt 103,57 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Humusboden + 100 ccm Natriumnitratlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker	Volum II dicht	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	in Volumprozenten ausgedrückt	
	trocken					Differenz von I u. II	Differenz von II u. III
H_2O	133,20	117,30	120,65	— 15,90	+ 3,35	— 11,94	+ 2,85
$^1/_5$ %	138,40	116,60	119,40	— 21,80	+ 2,80	— 15,75	+ 2,40
$^1/_2$ %	146,10	119,80	123,10	— 26,30	+ 3,30	— 18,00	+ 2,76
1 %	142,80	118,70	123,00	— 24,10	+ 3,30	— 16,87	+ 2,78
2 %	134,80	115,60	118,80	— 19,20	+ 3,20	— 14,24	+ 2,76
5 %	131,00	108,30	111,65	— 22,70	+ 3,35	— 17,93	+ 3,09

Tabelle No. 31

angewandt 103,57 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Humusboden + 100 ccm Kaliumcarbinatlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I trocken	Volum II dicht	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	in Volumprozenten ausgedrückt	
	trocken					Differenz von I u. II	Differenz von II u. III
H_2O	133,20	117,30	120,65	— 15,90	+ 3,35	— 11,94	+ 2,85
$^1/_5$ %	133,95	112,25	115,70	— 21,70	+ 3,45	— 16,20	+ 3,07
$^1/_2$ %	133,10	109,80	114,30	— 23,30	+ 4,50	— 17,51	+ 4,09
1 %	Bei stärkerer Konzentration der Lösung läuft die Flüssigkeit nicht mehr durch den Erdzylinder. Auch tritt Zerplatzen der Bürette ein.						
2 %							
5 %							

Tabelle No. 32

angewandt 103,57 lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Humusboden + 100 ccm Kaliumsulfatlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	in Volumprozenten ausgedrückt: Differenz von I u. II	in Volumprozenten ausgedrückt: Differenz von II u. III
H_2O	133,20	117,30	120,65	— 15,90	+ 3,25	— 11,94	+ 2,85
$^1/_5$ %	141,60	120,60	123,30	— 21,00	+ 2,70	— 14,83	+ 2,24
$^1/_2$ %	136,70	112,65	115,30	— 24,05	+ 2,65	— 17,59	+ 2,35
1 %	124,90	105,50	108,80	— 19,40	+ 3,30	— 15,53	+ 3,13
2 %	123,50	101,90	105,85	— 21,60	+ 3,95	— 17,49	+ 3,87
5 %	128,80	105,40	109,90	— 23,40	+ 4,50	— 18,17	+ 4,27

Tabelle No. 33

angewandt 103,57 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Humusboden + 100 ccm Ammoniumsulfatlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	in Volumprozenten ausgedrückt: Differenz von I u. II	in Volumprozenten ausgedrückt: Differenz von II u. III
H_2O	133,20	117,30	120,65	— 15,90	+ 3,35	— 11,94	+ 2,85
$^1/_5$ %	129,40	108,30	112,60	— 21,10	+ 4,30	— 16,31	+ 3,98
$^1/_2$ %	132,70	105,75	110,55	— 26,95	+ 4,80	— 20,31	+ 4,51
1 %	126,10	108,70	113,15	— 17,40	+ 4,45	— 13,80	+ 4,09
2 %	138,00	114,50	119,00	— 23,50	+ 4,50	— 17,03	+ 3,93
5 %	135,50	110,60	114,80	— 24,90	+ 4,20	— 18,38	+ 3,80

Tabelle No. 34

angewandt 103,57 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Humusboden + 100 ccm Natriumsulfatlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	in Volumprozenten ausgedrückt: Differenz von I u. II	in Volumprozenten ausgedrückt: Differenz von II u. III
H_2O	133,20	117,30	120,65	— 15,90	+ 3,35	— 11,94	+ 2,85
$^1/_5$ %	118,10	98,80	102,60	— 19,30	+ 3,80	— 16,34	+ 3,84
$^1/_2$ %	116,90	96,80	100,40	— 20,10	+ 3,60	— 17,20	+ 3,70
1 %	123,70	101,40	105,45	— 22,30	+ 4,05	— 18,03	+ 4,00
2 %	130,00	101,90	106,10	— 28,10	+ 4,20	— 21,61	+ 4,12
5 %	133,10	110,10	115,50	— 23,00	+ 5,40	— 17,28	+ 4,90

Tabelle No. 35

angewandt 103,57 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Humusboden + 100 ccm Magnesiumsulfatlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. II	in Volumprozenten ausgedrückt: Differenz von I u. II	in Volumprozenten ausgedrückt: Differenz von II u. III
H_2O	133,20	117,30	120,65	— 15,90	+ 3,35	— 11,94	+ 2,85
$^1/_5$ %	123,70	100,60	103,70	— 23,10	+ 3,10	— 18,67	+ 3,07
$^1/_2$ %	121,30	102,30	106,00	— 19,00	+ 3,70	— 15,66	+ 3,61
1 %	120,80	100,50	104,65	— 20,30	+ 4,15	— 16,80	+ 4,13
2 %	123,70	104.10	108,05	— 19,60	+ 3,95	— 15,84	+ 3,79
5 %	135,60	117,05	120,70	— 18,55	+ 3,65	— 13,68	+ 3,12

Tabelle No. 36

angewandt 103,57 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Humusboden + 100 ccm Kainitlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	in Volumprozenten ausgedrückt: Differenz von I u. II	in Volumprozenten ausgedrückt: Differenz von II u. III
H_2O	133,20	117,30	120,65	— 15,90	+ 3,35	— 11,94	+ 2,85
$^1/_5$ %	125,50	108,50	110,50	— 17,00	+ 2,00	— 13,55	+ 1,84
$^1/_2$ %	128,30	108,20	110,60	— 20,10	+ 2,40	— 15,67	+ 2,21
1 %	120,70	99,65	102,15	— 21,05	+ 2,50	— 17,44	+ 2,51
2 %	127,20	107,15	110,40	— 20,05	+ 3,25	— 15,75	+ 3,03
5 %	128,10	104,80	108,15	— 23,30	+ 3,35	— 18,20	+ 3,19

Tabelle No. 37

angewandt 103,57 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Humusboden + 100 ccm Carnallitlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker	Volum II dicht	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	in Volumprozenten ausgedrückt	
	trocken					Differenz von I u. II	Differenz von II u. III
H_2O	133,20	117,30	120,65	— 15,90	+ 3,35	— 11,94	+ 2,85
$^1/_5$ %	124,90	106,70	109,75	— 18,20	+ 3,05	— 14,57	+ 2,86
$^1/_2$ %	126,90	104,05	106,90	— 22,85	+ 2,85	— 18,01	+ 2,74
1 %	130,10	111,50	114,40	— 18,60	+ 2,90	— 14,29	+ 2,60
2 %	119,00	97,90	101,20	— 21,10	+ 3,30	— 17,73	+ 3,37
5 %	124,10	99,30	102,70	— 24,80	+ 3,40	— 19,94	+ 3,42

Durch Trocknen des Humusbodens schieden sich 2 Schichten ab, eine obere von Humuskörnchen und eine untere, die hauptsächlich aus Sandpartikelchen bestand. Trotz guter Mischung war eine gleichmässige Verteilung beider Konstituenten unmöglich, sodass die lockeren und dichten Volumina grosse Unterschiede aufwiesen und zwar um so mehr, als eine Bürette Humusteile enthielt. Durch Umrechnung auf Volumprozente wurden diese Fehler wieder ausgeglichen. Bei Behandlung mit Salzlösungen wurde der Boden derart ausgedehnt, dass sich folgende Gesetzmässigkeit ableiten lässt:

Die Expansion des Humusbodens, verursacht durch Salzlösungen, ist direkt proportional der Konzentration der Lösung in gewissen Grenzen mit Ausnahme der Chlorcalcium- und Kaliumnitratlösung, die durch stärkere Konzentration eine geringere Ausdehnung veranlassten und sich also umgekehrt proportional verhielten. Durch mechanisches Einrütteln war keine Kontraktion zu konstatieren. Wie sich die einzelnen Salze in Bezug auf ihre Expansionsfähigkeit verhielten, zeigt die Tabelle No. 38.

Abgesehen von den Sulfaten und dem kohlensaurem Kalium, welche die stärkste Expansion bewirkten, sodass die Glasröhren platzten, sind die Volumunterschiede, hervorgerufen durch Salzlösungen nur minimale zu nennen. Die Nitrate äussern sich etwas schwächer wie die Chloride, Kainit und Karnallit reagieren beinahe ebenso. Ganz anders verhält sich aber der dem Humusboden verwandte Torf.

Tabelle No. 38.

Zusammenstellung der Volumveränderungen des Humusbodens bei Behandlung mit Salzlösungen.

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Differenz von Volum I u II	Differenz von Volum II u. III	in Volumprozenten ausgedrückt: Differenz von I u. II	in Volumprozenten ausgedrückt: Differenz von II u. III
H_2O	133,20	117,30	120,65	— 15,90	+ 3,35	— 11,94	+ 2,85
K Cl	130,47	108,97	111,94	— 21,50	+ 2,97	— 16,48	+ 2,72
NH_4Cl	132,70	110,52	114,14	— 22,18	+ 3,62	— 16,71	+ 3,28
Na Cl	131,54	109,41	112,81	— 22,13	+ 3,40	— 16,83	+ 3,11
Mg Cl_2	135,51	113,80	117,31	— 21,71	+ 3,51	— 16,02	+ 3,08
Ca Cl_2	137,86	114,17	117,58	— 23,69	+ 3,41	— 17,20	+ 2,99
K NO_3	132,74	110,84	113,83	— 21,86	+ 2,99	— 16,47	+ 2,69
NH_4 NO_3	128,78	107,26	110,21	— 21,52	+ 2.95	— 16,71	+ 2,75
Na No_3	138,62	115,80	119,19	— 22,82	+ 3,39	— 16,46	+ 2.73
K_2 CO_3	133,41	113,11	—	— 22.30	—	— 16,71	—
K_2 SO_4	131,10	109,21	112,63	— 21,89	+ 3,42	— 16.69	+ 3,14
$(NH_4)_2$ SO_4	132,34	109,57	114,02	— 22,77	+ 4,45	— 17,20	+ 4.06
Na_2 SO_4	124,36	101,80	106,01	— 22,56	+ 4,21	— 18,13	+ 4,13
Mg SO_4	125,02	104,91	108.62	— 20,11	+ 3.71	— 16,09	+ 3,54
Kainit	125,96	105,66	108,36	— 20,30	+ 2,70	— 16,12	+ 2,55
Karnallit	125,00	103,89	106,99	— 21,11	+ 3,10	— 16,90	+ 2,98

Zu diesem Versuche konnten von dem spezifisch leichten Brenntorf, der zur Anwendung gelangte, nur eine 50 g wasserfreie Substanz entsprechende Menge angewandt werden, da sonst die Büretten zu klein waren. Es zeigte sich hier die interessante Tatsache, dass dieser ausgetrocknete Torf seine früheren physikalischen Eigenschaften, die er in nassem Zustande besass, vollständig eingebüsst hatte und durch stark verdünnte Salzlösungen nur geringe Expansion konstatieren liess; konzentrierte Lösungen bewirkten sogar Kontraktion des dichten Volumens ohne mech. Rütteln. Wasser bewirkt nach der Tabelle Nr. 39 die grösste Expansion des Torfbodens.

Tabelle No. 39

angewandt 57,74 g lufttrockener (entspr. 50 g wasserfreiem) Torf + 50 ccm Chlornatriumlösung.

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Differenz von Volum I u II	Differenz von Volum II u. III	in Volumprozenten ausgedrückt: Differenz von I u. II	in Volumprozenten ausgedrückt: Differenz von II u. III
H_2O	134,20	105,20	105,70	— 29,00	+ 0,50	— 21,61	+ 0,47
$^1/_2$ %	133,90	104,80	105,10	— 29,10	+ 0,30	— 21,80	+ 0,29
1 %	134,70	104,60	105,65	— 30,10	+ 0,05	— 22,34	+ 0,04
5 %	133,80	102,00	102,00	— 31,80	+ 0,00	— 23,76	+ 0,00
10 %	131,60	101,90	101,50	— 29,70	— 0,40	— 22,57	+ 0,39

B.

Volumveränderungen

von Lehm- und Thonboden durch Witterungseinflüsse.

Zur Vervollständigung des Bildes von den verschiedenen für die Volumveränderungen des Bodens massgebenden Einwirkungen scheint es geboten, auch den unter natürlichen Verhältnissen eintretenden Erscheinungen, soweit dieselben ein landwirtschaftliches Interesse bieten, näher zu treten. Das mittelst der verschiedenen Ackerwerkzeuge gelockerte, bei normaler Anwendung derselben in krümelichen Zustand übergeführte Ackerland erfährt nicht nur seiner physikalischen Beschaffenheit ensprechende sondern auch mannigfache, durch äussere Einwirkungen veranlasste Veränderungen in seinem Volumen. Unter denjenigen Faktoren, welche in dieser Richtung sich hauptsächlich von Einfluss erweisen, sind vor allem der Frost, die Niederschläge und die Trockenheit in Betracht zu ziehen. Die wechselnden Feuchtigkeitsverhältnisse macht sich die Praxis zunutze durch sogenannte Brache von Feldern, um schwere Böden unter gleichzeitig tüchtiger Bearbeitung physikalisch günstiger zu gestalten. Für die in dieser Hinsicht angestellten Versuche wurden roher Lehm- und blauer

Thonboden einer Lehmkule in Gehlsdorf verwendet. Die Proben stammten aus der Tiefe, sodass sie als gänzlich unverwittert bezeichnet werden konnten. Mehrere Versuche mit diesen Erdarten wurden im Oktober 1901 nach derselben Methode wie früher ausgeführt. Weitere Bodenproben wurden in Töpfen ins Freie gebracht resp. der Witterung ausgesetzt, um im Frühjahr 1902 und abermals im Herbst in Bezug auf ihre Volumveränderungen geprüft zu werden. (Tab. 40—46).

Analyse des Gehlsdorfer Lehmbodens.

Feuchtigkeit = 1,777 %
K_2O = 0,135 „
CaO = 0,527 „
MgO = 0,011 „
SO_3 = 0,010 „
P_2O_5 = 0,097 „
N = 0,008 „

Durch die Lockerung des Bodens,[1] welche entweder eine Zertrümmerung desselben in seine einzelnen Teilchen (Einzelkornstruktur) oder eine Überführung in eine krümelige Masse (Krümelstruktur) bewirkt, muss notwendigerweise eine Volumvermehrung stattfinden. Im ersten Fall, im pulverförmigen Zustand des Bodens, sind die Partikel, trockene Beschaffenheit vorausgesetzt, von Lufthüllen hoher Spannung umgeben, durch welche die Bodenelemente von einander getrennt werden, und wodurch eine Vergrösserung des Raumes in mehr oder minderem Grade herbeigeführt wird im Vergleich zu dem Zustand, wo die Teilchen auf das Engste an ein-

1) Vgl. Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik, Bd. XX p. 9.

Tabelle No. 40

angewandt 100,81 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Thonboden + 100 ccm Flüssigkeit (untersucht im Oktober 1901).

Flüssigkeit	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mech. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u IV
H_2O	75,70	59,00	60,10	59,00	— 16,70	+ 1,10	— 1,10	+ 0,00
H_2O	75,20	59,20	60,30	59,10	— 16,00	+ 1,10	— 1,20	— 0,10
H_2O	75,60	59,00	60,00	58,90	— 16,60	+ 1,00	— 1,10	— 0,10
1 % Na Cl	75,60	58,60	60,10	58,80	— 17,00	+ 1,50	— 1,30	+ 0,20
1 % Na Cl	75,10	58,90	60,40	59,00	— 16,20	+ 1,50	— 1,40	+ 0,10
1 % Na Cl	75,50	59,00	60,50	59,10	— 16,50	+ 1,50	— 1,40	+ 0,10

Tabelle No. 41

angewandt 101,11 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Thonboden + 100 ccm Flüssigkeit (untersucht am 15. Mai 1902)

Flüssigkeit	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mechan. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
H_2O	78,60	59,25	60,50	59,20	— 19,35	+ 1,25	— 1,30	— 0,05
H_2O	78,60	59,50	60,80	59,55	— 19,10	+ 1,30	— 1,25	+ 0,05
H_2O	78,70	59,20	60,60	59,30	— 19,50	+ 1,40	— 1,30	+ 0,10
1 % Na Cl	78,80	59,80	62,35	60,50	— 19,00	+ 2,55	— 1,85	+ 0,70
1 % Na Cl	78,40	58,50	60,70	58,80	— 19,90	+ 2,20	— 1,90	+ 0,30
1 % Na Cl	78,50	59,70	62,20	60,20	— 18,80	+ 2,50	— 2,00	+ 0,50

Tabelle No. 42

angewandt 101,31 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Thonboden + 100 ccm Flüssigkeit (untersucht im Oktober 1902).

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mechan. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
H_2O	76,50	63,70	64,70	61,55	— 12,80	+ 1,00	— 3,15	— 2,15
H_2O	78,40	64,60	65,65	62,85	— 13,80	+ 1,05	— 2,80	— 1,75
H_2O	77,90	63,90	64,80	61,60	— 14,00	+ 0,90	— 3,20	— 2,30
1 % Na Cl	78,50	65,00	66,10	62,30	— 13,50	+ 1,10	— 3,80	— 2,70
1 % Na Cl	77,90	63,00	64,20	61,20	— 14,90	+ 1,20	— 3,00	— 1,80
1 % Na Cl	78,10	65,00	66,20	62,70	— 13,10	+ 1,20	— 3,50	— 2,30

Tabelle No. 43

angewandt 100,84 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Lehmboden + 100 ccm Flüssigkeit (untersucht im Oktober 1901).

Gehalt der Lösung	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mechan. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
H_2O	74,80	62,55	63,45	62,15	— 12,25	+ 0,90	— 1,30	— 0,40
H_2O	74,50	61,20	62,30	61,00	— 13,30	+ 1,10	— 1,30	— 0,20
H_2O	75,20	62,55	63,55	62,20	— 12,65	+ 1,00	— 1,35	— 0,35
1 % Na Cl	75,70	63,00	64,40	62,90	— 12,70	+ 1,40	— 1,50	— 0,10
1 % Na Cl	75,00	62,80	64,20	62,60	— 12,20	+ 1,40	— 1,60	— 0,20
1 % Na Cl	75,70	62,90	64,20	62,60	— 12,80	+ 1,30	— 1,60	— 0,30

Tabelle No. 44

angewandt 101,68 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Lehmboden + 100 ccm Flüssigkeit (untersucht im Mai 1902).

Flüssigkeit	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mechan. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
H_2O	78,90	64,70	65,90	63,80	— 14,20	+ 1,20	— 2,10	— 0,90
H_2O	78,10	63,80	65,00	63,10	— 14,30	+ 1,20	— 1,90	— 0.70
H_2O	78,80	64,50	65,70	63,60	— 14,30	+ 1,20	— 2,10	— 0,90
1 % Na Cl	78,50	64,60	66,20	63,50	— 13,90	+ 1,60	— 2,70	— 1,10
1 % Na Cl	78,30	63,70	65,25	62,60	— 14,60	+ 1,55	— 2,65	— 1,10
1 % Na Cl	78,40	63,60	64,85	62,30	— 14,80	+ 1,25	— 2,55	— 1,20

Tabelle No. 45

angewandt 100,88 g lufttrockener (entspr. 100 g wasserfreiem) Lehmboden + 100 ccm Flüssigkeit (untersucht im Oktober 1902).

Flüssigkeit	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u nach dem mechan. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
H_2O	82,80	69,30	70,40	65,05	- 13,50	+ 1,10	— 5,35	— 4,25
H_2O	81,60	68,90	69,80	64,50	— 12,70	+ 0,90	— 5,30	— 4,40
H_2O	82,10	69,20	70,30	64,90	— 12,90	+ 1,10	— 5,40	— 4,30
1 % Na Cl	79,90	67,30	68,30	63,10	- 12,60	+ 1,00	— 5,20	— 4,20
1 % Na Cl	81,10	68,10	69,20	63,50	— 13,00	+ 1,10	— 5,70	— 4,60
1 % Na Cl	82,30	68,90	70,10	64,30	— 13,40	+ 1,20	— 5,80	— 4,60

Tabelle No. 46.

Zusammenstellung der Volumveränderungen des Lehm- und Thonbodens bei Behandlung mit 100 ccm Wasser resp. 1%iger Chlornatriumlösung.

Art des Bodens	Zeit der Untersuchung	Flüssigkeit	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mech. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
Thonboden	Okt. 1901	H_2O	75,45	59,07	60,13	59,00	— 16,38	+ 1,06	— 1.13	— 0,07
	Mai 1902	H_2O	78,60	59,32	60,63	59,35	— 19,28	+ 1,31	— 1,28	— 0,03
	Okt. 1902	H_2O	77,88	64,07	65,05	62,00	— 13,81	+ 0,98	— 3,05	— 2,07
	Okt. 1901	1% Na Cl	75,45	58,83	60,33	58,97	— 16,62	+ 1,50	— 1,36	— 0,14
	Mai 1902	1% Na Cl	78,60	59,33	61,75	59,83	— 19,27	+ 2,42	— 1,92	— 0,50
	Okt. 1902	1% Na Cl	77,88	64,33	65,50	62,07	— 13,55	+ 1,17	— 3,43	— 2,26
Lehmboden	Okt. 1901	H_2O	75,15	62,10	63,10	61,78	— 13,05	+ 1,00	— 1,32	— 0,32
	Mai 1902	H_2O	78,50	64,33	65.53	63,50	— 14,17	+ 1,20	— 2,03	— 0,83
	Okt. 1902	H_2O	81,63	69,13	70,16	64,82	— 12,50	+ 1,03	— 5,34	— 4,31
	Okt. 1901	1% Na Cl	75,15	62,90	64,27	62,70	— 12,25	+ 1,37	— 1,57	— 0,20
	Mai 1902	1% Na Cl	78,50	63,97	65,43	62,80	— 14,53	+ 1,46	— 2.63	— 1,17
	Okt. 1902	1% Na Cl	81,63	68,10	69,20	63,63	— 13,53	+ 1,10	— 5,57	— 4,47

ander gelagert sind. In dem zweiten Fall, d. h. in der normal bearbeiteten Ackerkrume, bilden sich Congregate von verschiedener Grösse, (Krümel oder Bröckchen), zwischen welchen sich grössere, sogen. nichtkapillare, Hohlräume oder Lücken befinden, die, weil sie einen mehr oder weniger grossen Teil des Raumes in Anspruch nehmen, zu einer Vermehrung des Volumens des Bodens gegenüber dem dichtesten Zustande desselben Veranlassung geben. Die meisten Böden in krümeligem Zustande haben das Bestreben unter natürlichen Verhältnissen allmählich in die Einzelkornstruktur zurückzugehen. Dieser Übergang ist mit einer Dichterlagerung der kleinsten Bodenpartikelchen und damit mit einer Volumverminderung verbunden. Referent fand bei einem rohen Lehmboden, der in einer luftdicht verschlossenen Flasche aufbewahrt wurde, allmählich, innerhalb Monaten, eine Verminderung des dichten Volumens und damit ein Zurückgehen in die Einzelkornstruktur. Bei der Bearbeitung der Böden im landwirtschaftlichen Betrieb wird danach getrachtet, den pulverförmigen Zustand in eine krümelige Masse zu verwandeln, resp. also eine Zunahme des Volumens zu veranlassen. Bekanntlich nimmt ein krümeliger Boden auch ein grösseres dichtes Volumen ein als ein feinkörniges Material im trockenen wie im feuchten Zustand. Wir werden also aus der Grösse des lockeren, des dichten, trocknen und feuchten Volumens einen Schluss auf die Bodenstruktur ziehen können. Die Bodenstruktur aber ist, wie in der Einleitung erwähnt, ein Mass für die physikalischen Bodeneigenschaften. — Die Tabellen No. 40—46 veran-

schaulichen nun, wie roher Lehm- und Thonboden unter Einfluss der Witterung in seiner Struktur verändert wird. Durch das Überwintern, also durch Frost und Niederschläge, hatten der Lehm- und Thonboden sowohl ihre lockeren als auch ihre festen Volumina merklich vermehrt. Die Bodenstruktur wurde durch das Ausfrieren derart geändert,[1] dass die Unterschiede in der Expansion und Kontraktion stärker geworden waren. Bei der Untersuchung im Oktober 1902, also nachdem die Böden konstant der Witterung ausgesetzt waren, zeigte es sich, dass zwar der Thonboden in seinem lockeren Volum etwas zurückgegangen war, der Lehm aber eine weitere Volumvermehrung aufzuweisen hatte. Bei beiden Erdarten hatte sich das feste Volum sehr vergrössert, die Ausdehnung unter Wasser gegen das Frühjahr verringert und die Kontraktion um das doppelte gesteigert. Die Anwendung von 1%iger Kochsalzlösung ergab dasselbe Resultat, nur in stärkerem Masse. Die Witterungseinflüsse haben den rohen Lehm- und Thonboden in eine krümeligere Struktur übergeführt und damit in physikalischer Beziehung weit günstiger für die Vegetation gestaltet.

1) Vgl. S. A. Johnson, Report of Secretang of the Connecticut. State Board of Agriculture for 1877—78. Hartfort 1878.

C.

Volumveränderung

von Sand und Ton bei Anwendung der Kalkung.

In der Wirksamkeit, die Einzelkornstruktur in die Krümelstruktur überzuführen, ist kein anderes Element mit dem Calcium zu vergleichen. Dass durch Kalkung des Bodens ganz andere Volumverhältnisse eintreten, liegt klar auf der Hand. Behufs Feststellung der Volumveränderungen der Böden durch Kalk wurden folgende Versuche angestellt. Ausgeglühter und mit Salzsäure ausgezogener Wellsand und kalkfreier reiner Thon wurden mit Kalkhydrat, chemisch gefälltem kohlensaurem Kalk und Kalkschlamm in verschiedenen Mengen in luftrockenem Zustande innig gemengt und von dem Gemisch dieser Materialien immer eine Menge, entspr. 100 g wasserfreier Substanz, angewandt. Im Übrigen wurde wie bei den früheren Versuchen verfahren. (Tab. 47—54.)

Hinsichtlich des Einflusses von Kalk auf Sand und Kaolin wurden aus den, in den Tabellen 47—54 angeführten Versuchsresultaten zu folgern sein, dass der mit der angewandten Menge von $CaCO_3$ und Kalk-

Tabelle No. 47

Volumveränderung des mit Salzsäure ausgezogenen und geglühten Wellsandes bei der Kalkung mit Kalkhydrat + 100 ccm Wasser.

Angewandte Menge des Seesandes entspr. 100 g wasserfreier Substanz	Angewandte Menge von Kalkhydrat	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mechan. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
100.21	—	80,70	66,30	67,00	62,50	— 14,40	+ 0,70	— 4,50	— 3,80
100,11	0,1 g	81,00	66,50	67,25	62,90	— 14,50	+ 0,75	— 4,35	— 3,60
100,01	0,2 g	80,80	68,10	68,90	64,60	— 12,70	+ 0,80	— 4,30	— 3,50
99,71	0,5 g	81,10	67,50	68.40	63,60	— 13,60	+ 0,90	— 4,80	— 3,90
99,21	1 g	81,10	68,10	69,05	64,15	— 13,00	+ 0,95	— 4,90	— 3,95
98,21	2 g	80,80	67,60	68,60	63,75	— 13,20	+ 1,00	— 4,85	— 3,85

Tabelle No. 48

Volumveränderung des durch Salzsäure ausgezogenen und geglühten Wellsandes bei der Kalkung mit kohlensaurem Kalk + 100 ccm Wasser.

Angewandte Menge des Seesandes entspr. 100 g wasserfreier Substanz	Zugabe berechnet auf Ca O i. Prozent.	Angewandte Menge v. $CaCO_3$	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mech. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
100,210	—	—	80,70	66,30	67,00	62,50	— 14,40	+ 0,70	— 4,50	— 3,80
100,034	0,1 %	0,176 g	80,50	66,50	67,35	62,50	— 14,00	+ 0,85	— 4,85	— 4,00
99,857	0,2 %	0,353 g	80,70	66,45	67,50	62,80	— 14,25	+ 1,05	— 4,70	— 3,65
99,327	0,5 %	0,883 g	81,60	66,40	67,35	62,70	— 15,20	+ 0,95	— 4,65	— 3,70
98,441	1 %	1,769 g	82,70	67,35	68,30	63,10	— 15,35	+ 0,95	— 5,20	— 4,25
96,671	2 %	3,539 g	82,30	66,80	67,90	62,75	— 15,50	+ 1,10	— 5,15	— 4,05

Tabelle No. 49.

Volumveränderung des mit Salzsäure ausgezogenen und geglühten Wellsandes bei der Kalkung mit Kalkschlamm (enth. 52,18 % CaO) + 100 ccm Wasser.

Angewandte Menge des Seesandes entspr. 100 g wasserfreier Substanz	Zugabe berechnet auf Ca O i. Proz.	Angewandte Menge v. Kalkschlamm	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mechan. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
100,210	—	—	80,70	66,30	67,00	62,50	— 14,40	+ 0,70	4,50	— 3,80
100,019	0,1 %	0,191 g	82,30	66,10	67,00	63,70	— 16,20	+ 0,90	— 3,30	— 2,40
99,827	0,2 %	0,383 g	81,80	66,05	67,00	63,60	— 15,75	+ 0,95	— 3,40	— 2,45
99,252	0,5 %	0,958 g	83,00	66,95	68,20	63,90	— 16,05	+ 1,25	— 4,30	— 3,05
98,294	1 %	1,916 g	83,60	67,50	68,55	63,20	— 16,10	+ 1,05	— 5,35	— 4,30
96,377	2 %	3,833 g	85,80	69,80	70,65	64,05	— 16,00	+ 0,85	— 6,60	— 5,75

Tabelle No. 50.

Volumveränderung des Kaolins bei der Kalkung mit Kalkhydrat + 100 ccm Wasser

Angewandte Menge des Kaolins entspr. 100 g wasserfreier Substanz	Angewandte Menge von Kalkhydrat	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mechan. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
101,05	—	201,70	115,20	112,80	102,80	— 86,50	— 2,40	— 10,00	— 12,40
100,95	0,1 g	201,70	115,40	110,30	105,00	— 86,30	— 5,10	— 5,30	— 10,40
100,85	0,2 g	201,60	114,00	114,10	103,80	— 87,60	+ 0,10	— 10,30	— 10,20
100,55	0,5 g	200,20	114,50	115,05	112,00	— 85,70	+ 0,55	— 3,05	— 2,50
100,05	1 g	200,80	114,30	115,30	110,70	— 86,50	+ 1,00	— 4,60	— 3,60
99,05	2 g	198,50	114,40	116,00	111,50	— 84,10	+ 1,60	— 4,50	— 2,90

Tabelle No. 51

Volumveränderung des Kaolins bei der Kalkung mit kohlensaurem Kalk + 100 ccm Wasser.

Angewandte Menge des Kaolins entspr. 100 g wasserfreier Substanz	Zugabe berechnet auf Ca O i. Prozent.	Angewandte Menge von $CaCO_3$	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mechan. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
101,05	—	—	201,70	115,20	112,80	102,80	— 86,50	— 2,40	— 10,00	— 12,40
100,874	0,1 %	0,176 g	205,50	115,00	112,60	104.10	— 90,50	— 2,40	— 8,50	— 10,90
100,697	0,2 %	0,353 g	204,50	114,00	111,50	102,20	— 90,50	— 2,50	— 9,30	— 11,80
100,167	0,5 %	0,883 g	200,40	110,90	109,00	98,20	— 89,50	— 1,90	— 10,80	— 12,70
99,281	1 %	1,769 g	203,70	114,80	110,50	106,30	— 88,90	— 4,30	— 4,20	— 8,50
97,511	2 %	3,539 g	209,50	114,60	114,50	111,00	— 94,90	— 0,10	— 3,50	— 3,40

Tabelle No. 52

Volumveränderung des Kaolins bei der Kalkung mit Kalkschlamm enth.: (52,18 % Ca O) + 100 ccm Wasser.

Angewandte Menge des Kaolins entspr. 100 g wasserfreier Substanz	Zugabe berechnet auf Ca O i. Proz.	Angewandte Menge von Kalkschlamm	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV. nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mechan. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
101,05	–	—	201,70	115,20	112,80	102,80	— 86,50	— 2,40	— 10,00	— 12,40
100,859	0,1 %	0,191 g	208,20	118,10	116,40	104,20	— 90,10	— 1,70	— 12,20	— 13,90
100,667	0,2 %	0,383 g	205,70	115,60	114,20	106,00	— 90,10	— 1,40	— 8,20	— 9,60
100,092	0,5 %	0,958 g	205,60	116,50	110,30	105,10	— 89,10	— 6,20	— 5,20	— 11,40
99,134	1 %	1,916 g	207,40	112,60	113,00	105,40	— 94,80	+ 0,40	— 7,60	— 7,20
97,217	2 %	3,833 g	204,50	111,00	110,20	101,60	— 93.50	— 0,80	— 8,60	— 9,40

Tabelle No. 53

Zusammenstellung der Volumveränderungen des durch Salzsäure ausgezogenen und geglühten Weißsandes bei der Kalkung

Art des Kalkes	Volum I (locker)	Volum II (dicht)	Volum III (unter Flüssigkeit stehend)	Volum IV (Nach dem Absatz der Flüssigkeit nach 6 mal. Umrühren)	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
	trocken							
Ohne Kalk	80,70	80,30	67,30	62,50	— 1,40	— 0,37	— 4,80	— 3,80
$CaCO_3$ fein	80,90	67,50	58,64	53,50	— 13,40	— 8,86	— 4,64	— 13,96
$Ca\,CO_3$	81,80	80,70	67,68	62,77	— 14,80	— 4,68	— 4,91	— 17,91
Kalkschlamm	83,30	67,78	58,78	53,80	— 10,52	— 8,90	— 4,80	— 13,97

Tabelle No. 54

Zusammenstellung der Volumveränderungen des Kaolins bei der Kalkung.

Art des Kalkes	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV Nach dem Ablauf der Flüssigkeit u. nach d. mech. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
Ohne Kalk	201,70	115,20	112,80	102,80	— 86,50	— 2,40	— 10,00	— 12,40
Kalkhydrat	200,56	114,52	114,15	108,60	— 86,04	— 0,37	— 5,55	5,92
Ca CO_3	204,72	113,86	111,62	104,36	— 90,86	— 2,24	— 7,26	— 9,50
Kalkschlamm	206,28	114,76	112,82	104.46	— 91,52	— 1,94	— 8,36	— 10,30

schlamm vermischte Sand das lockere und dichte Volumen vergrössert, während der mit $Ca(OH)_2$ vermischte Sand weder das lockere, noch feste Volumen merklich vermehrt. Die Expansion des mit Salzsäure ausgezogenen und geglühten Wellsandes steigt unter Wasser mit zunehmendem Gehalt an $Ca(OH)_2$ und $CaCO_3$, während Kalkschlamm bei einer Zugabe von mehr als 0,5 % wieder einen Rückgang im Volum bewirkt.

Nach dem mechanischen Einrütteln zeigt letzterer auch die stärkste Kontraktion. Der spezifisch leichte Kaolin lässt, da sein Volumen sehr gross ist, durch die Anwendung der verhältnismässig geringen Mengen der Kalkarten in zunehmenden Gaben (0,1 % — 2 %) in Bezug auf das lockere und dichte Volumen keine Gesetzmässigkeiten erkennen; doch scheint es, als ob mit der Vermehrung des Kalkes eine Abnahme des lockeren und dichten Volumens eintritt. Unter Wasser entsteht Kontraktion, die bei dem mit Kalkhydrat gemischten Ton am geringsten ist. Nach dem mechanischen Einrütteln hat hier, wie beim Sand, der Kalkschlamm die grösste Kontraktion aufzuweisen. $CaCO_3$ steht in dieser Beziehung in der Mitte.

In Anbetracht der physikalischen Vorgänge in Bezug auf die Bodenstruktur, wie wir sie bei der Behandlung des Kapitels „Witterungseinflüsse auf die Volumveränderung der Böden" klarlegten, werden aus den vorstehenden Resultaten folgende praktische Schlüsse zu ziehen sein:

Die Verwendung von Ätzkalk und kohlensaurem Kalk ist zur physikalischen Aufbesserung von Sandboden gleich günstig. Bis zu 1 % angewandt, wirkt

Kalkschlamm ebenso; nimmt man mehr, tritt wieder eine Verschlechterung der Bodenstruktur auf. Für schwere Böden ist Ätzkalk am vorteilhaftesten, kohlensaurer Kalk äussert sich weit schwächer und Kalkschlamm zu werwenden, würde sich als vollkommen unrentabel erweisen.

D.

Volumveränderungen

einer Anzahl Kalk- und Mergelarten.

Da dieselbe Menge Kalk in verschiedener Form als $Ca(OH)_2$, $CaCO_3$, Kalkschlamm etc. sehr ungleich auf die physikalische Beschaffenheit des Bodens wirkt, scheint es geboten, die in der Praxis gebräuchlichen Kalk- und Mergelarten auf ihre eigenen Volumveränderungen zu prüfen. Aus den Ergebnissen könnte schon auf ihre Wirksamkeit geschlossen werden.

Nach Heinrich[1] beruht die energischere Wirkung des gelöschten Kalks dem kohlensauren Kalk gegenüber auf der äusserst feinen Zerteilung, die der gelöschte Kalk hat. Wegen der letzteren lässt er sich mit dem Boden besser vermengen.

---

1) Vgl. Heinrich Dünger und Dünger S. 71.

Tabelle No. 55.

Volumveränderung von Kalk- und Mergelarten (angew. entspr. 100 wasserfreie Substanz) + 100 ccm Wasser.

Nummer	Angewandte Menge von Substanz	Nähere Bezeichnung		Gehalt von Ca O in Prozenten	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mechan. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
1	100,91	kohlensaurer reiner Kalk (chem. gefällt)		56 %	253,80	146,70	144,70	137,10	— 107,10	— 2,00	— 7,60	— 9,60
2	116,83	Kalkschlamm		71 %	216,50	132,60	134,10	129,10	— 83,90	+ 1,50	— 5,00	— 3,50
3	106,296	Kalk	Waren	13 %	97,90	78,90	80,00	77,30	— 19,00	+ 1,10	— 2,70	— 1,60
4	100,910	Mergel	Crivitz	8,9 %	87,00	63,05	64 00	61,50	— 23,95	+ 0,95	— 2,50	— 1,55
5	101,090	Wiesenkalk	Stolpe	43,7 %	156,10	101,20	101,70	101,00	— 54,90	+ 0,50	— 0,70	— 0,20
6	134,00	Düngerkalk	Karow	33,6 %	270,30	128,40	128,70	115,20	— 141,90	+ 0,30	— 13,50	— 13,20
7	100,26	Wiesenkalk	Wahlow	50,6 %	168,60	111,70	112,00	109,30	— 56,90	+ 0,30	— 2,70	— 2,40
8	100,50	Kalkmergel	Kotelow	46,5 %	78,40	57,50	58,40	58,00	— 20,90	+ 0,90	— 0,40	+ 0,50
9	100,46	Mergel	Karbow	2,4 %	89,60	79,20	78,90	69,90	— 10,40	— 0,30	— 9,00	— 9,30
10	101,40	Wiesenkalk	Userin	51,30 %	206,60	147,00	148,20	142,80	— 59,60	+ 1,20	— 5,40	— 4,20
11	101,33	Wiesenkalk	Userin	51,70 %	215,80	149,15	150,70	144,65	— 66,65	+ 1,55	— 6,05	— 4,50
12	100,60	Lehmmergel	Weisin	6,6 %	85,50	66,70	68,10	65,40	— 18,80	+ 1,40	— 2,70	— 1,30
13	103,00	Wiesenkalk	Userin	47,00 %	182,10	127,10	128,50	124,20	— 55,00	+ 1,40	— 4,30	— 2,90
14	100,00	Düngerkalk	Ravensbrück	56,6 %	188,50	113,10	113,20	109,00	— 75,40	+ 0,10	— 4,20	— 4,10
15	100,00	Düngerkalk	Ravensbrück	63,4 %	179,40	115,70	117,50	117,50	— 63,70	+ 1,80	— 0,00	+ 1,80
16	101,60	Mergel	Klein Krauss	6,1 %	88,10	70,80	70,10	63,90	— 17,30	— 0,70	— 6,20	— 6,90
17	101,72	Mergel	Weitendorf	9,8 %	87,00	75,00	75,60	68,05	— 12,00	+ 0,60	— 7,55	— 6,95

Reiner kohlensaurer, chemisch gefällter Kalk hat das grösste lockere Volum. Die Differenz zwischen lockerem und festem Volum beträgt ca. 43 %, Kalkhydrat nimmt 35 % ab, beim Übergang vom lockeren in das feste Volum.

Körnige Kalk- und Mergelarten, wie z. B. No. 18, zeigen geringere Abnahme nach dem mechanischen Einrütteln. Selbstverständlich wirken solche Kalksorten schlechter, als wenn dasselbe Material pulverförmig mit dem zu kalkenden Boden gemischt wird. Reiner kohlensaurer Kalk erleidet unter Wasser eine Kontraktion. Alle übrigen Kalk- und Mergelarten zeigen Expansion im feuchten Zustande, und zwar um so mehr, je reichlicher Ca O in demselben enthalten ist.

Die Kontraktion, hervorgerufen durch mechanisches Einrütteln, schwankt innerhalb weiter Grenzen, — 13,20 bis + 1,80, je nach dem Gehalt an Ca O und nach den Strukturverhältnissen der Materialien.

Um zu veranschaulichen, welche enormen Schwankungen die Kalk- und Mergelarten in Bezug auf ihr Litergewicht im lockeren und festen Zustande aufzuweisen haben, diene folgende Tabelle. (Tab. 56.)

Die Volumina der Kalk- und Mergelarten spielen in der Praxis insofern eine Rolle, als meistens nach Mass, nicht nach Gewicht gekalkt wird. Es wurden deshalb einige Versuche angeschlossen, um die Litergewichte berechnen zu können. Das Gewicht der feuchten Erdzylinder wurde in der Weise festgestellt, dass die Glasbüretten vorsichtig zertrümmert und die herausgenommenen Erdzylinder gewogen wurden. Folgende Tab. diene zur Veranschaulichung der Versuchsergebnisse.

Tabelle 56

Litergewichte der wasserfreien Kalk- und Mergelböden in lockerem und dichtem Zustande.

Nähere Bezeichnung		Volum I Liter-gewicht des lockeren Bodens in Grammen	Volum II Liter-gewicht des dichten Bodens in Grammen	Differenz von Volum I und II Gewichts-zunahme in Grammen
Gebrannter Kalk	1.	764	1108	+ 344
Reiner chem. gefällter Ca CO_3	2.	398	756	+ 358
Kalkschlamm	3.	539	881	+ 342
Kalk-Waren	4.	1085	1347	+ 262
Mergel-Crivitz	5.	1160	1601	+ 441
Wiesenkalk-Stolpe	6.	648	999	+ 351
Düngekalk-Karow	7.	495	1040	+ 545
Wiesenkalk-Wahlow	8.	594	898	+ 304
Kalkmergel-Kotelow	9.	1282	1748	+ 466
Mergel-Karbow	10.	1121	1268	+ 147
Wiesenkalk-Userin	11.	491	690	+ 199
Wiesenkalk-Userin	12.	470	679	+ 209
Lehmmergel-Weisin	13.	1177	1508	+ 331
Wiesenkalk-Userin	14.	565	810	+ 245
Kalk-Ravensbrück	15.	530	884	+ 354
Kalk-Ravensbrück	16.	557	864	+ 307
Mergel-Klein-Krauss	17.	1153	1435	+ 282
Mergel-Weitendorf	18.	1170	1360	+ 190

Tabelle No. 57

Litergewichte einiger Kalk- und Mergelarten im dichten feuchten Zustande.

Bezeichnung	Angewandte Menge	Kalk-Gehalt	Volum I locker (trocken)	Volum II dicht (trocken)	Volum III unter Flüssigkeit stehend	Gewicht des feuchten Materials	Litergewicht in feuchtem Zustand	Litergewicht in trocknem fest. Zustand
Mergel Dudendorf	50,1 g	7,7 %	40,7	30,5	30,8	59 g	1915 g	1642 g
Mergel Kobrow	51,65 g	12,7 %	46,5	32,5	33,2	62,9 g	1885 g	1593 g
Kalk Alt-Samit	54,45 g	47,6 %	79,5	54,30	54,80	85,5 g	1560 g	1003 g
Kalk Alt-Samit	50 g	51,9 %	78,00	49,90	50,3	75,5 g	1501 g	1002 g
Kalkmergel Exzow	50,15 g	53,1 %	68,00	42,90	43,30	68,60 g	1584 g	1168 g
Wiesenkalk Rakow	50,30 g	41,70 %	61,50	39,90	40,60	69,80 g	1719 g	1261 g
Wiesenkalk Georgenhof	56,1 g	49,20 %	119,00	72,60	73,60	105,40 g	1432 g	773 g
Mergel Dudendorf	51,25 g	6 %	43,80	34,00	34,50	57,50 g	1638 g	1506 g
Wiesenkalk Charlottenfelde	52,00 g	43,6 %	72,50	45,70	46,50	73 g	1570 g	1138 g
Kalk Marienhof	51,00 g	52,70 %	76,00	49,90	50.30	81,00 g	1610 g	1022 g
Mergel Rekentin	50,25 g	6,8 %	39,50	31,50	32,00	59,2 g	1850 g	1595 g
Mergel Zabel	52,08 g	6,4 %	55,50	41,50	43,20	69,50 g	1609 g	1253 g
Schlemmkreide	50,4 g	56,00 %	160,00	81,00	81,50	115,50 g	1417 g	622 g

E.

Volumveränderung
verschiedener Böden.

Es steht nun die Frage ziemlich nahe, welchen Volumveränderungen denn die Ackerböden unterworfen sind. In den folgenden Tabellen werden eine Anzahl Resultate einer beschränkten auserlesenen Zahl von Versuchen mitgeteilt, aus denen wir zwar nicht schliessen können, welche Volumveränderungen der betreffenden Bodenart für die Vegetation am günstigsten sind, die aber dennoch einen genügenden Einblick in diese Verhältnisse gewähren. (Tab. 58.)

Tabelle

Volumveränderung Mecklenburger Ackerböden unter Einfluss
+ 100 ccm

Nummer	Angewandte Menge Substanz in Grammen	Nähere Bezeichnung	Nähere Bezeichnung (Ort)	Volum I locker	Volum II dicht
				trocken	
1	104,635	brauner Sand	Weisin	99,50	76,40
2	100,485	Sandboden	Dodow	79,50	70,90
3	120,824	humoser Sandboden	Niesdorf	176,50	107,10
4	103,794	lehmiger Sandboden	Ahrensberg	100,80	74,20
5	102,430	lehmiger Sandboden	Dammeretz	95,90	71,75
6	100,628	stark lehmig. Sandboden	Dammeretz	84,60	65,80
7	101,342	humoser Sandboden	Bahlenhüschen	76,40	63,80
8	106,088	lehmiger Sandboden	Güstrow	109,80	79,05
9	106,848	Sandboden	Venschow	111,60	71,50
10	103,33	Sandboden	Versuchsstation	75,50	65,45
11	103,412	lehmiger Sandboden	Pinnow	94,70	70,70
12	105,798	lehmiger Sandboden	Pinnow	98,80	75,50
13	100,158	Sandboden	Versuchsstation	71,20	63,90
14	100,56	Sand-Untergrundboden	Versuchsstation	78,20	66,80
15	100,36	Schlemmsand	Versuchsstation	77,90	65,80
16	100,21	Seesand	Warnemünde	70,50	62,40
17	101,04	Lehmboden	Barnsdorf	83,60	62,70
18	101,54	Lehmboden	Gehlsdorf	80,70	63,35
19	100,762	Lehmboden	Waschow	87,10	67,40
20	101,05	reiner Kaolin	—	201,70	115,20
21	101,11	Thonboden	Gehlsdorf	75,70	59,00
22	105,184	Wiesenboden	Gr.-Gischow	158,30	128,40
23	103,57	Wiesenboden	Versuchsstation	133,20	117,30
24	123,054	Humusboden	Versuchsstation	168,80	123,80
25	115,48	Brenntorf	—	268,40	210,40

No. 58.

von Wasser angewandt (entspr. 100 g wasserfreiem) Boden Wasser.

Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mech. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
75,80	67,10	— 23,10	— 0,60	— 8,70	— 9,30
72,30	66,05	— 8,60	+ 1,40	— 6,25	— 4,85
107,50	99,50	— 69,40	+ 0,40	— 8,00	— 7,60
74,55	62,30	— 26,60	+ 0,35	— 12,25	— 11,90
72,00	63,95	— 24,15	+ 0,25	— 8,05	— 7,80
66,10	62,45	— 18,80	+ 0,30	— 3,65	— 3,35
64,30	61,50	— 12,60	+ 0,50	— 2,80	— 2,30
79,60	74,30	— 30,75	+ 0,55	— 5,30	— 4,75
72,20	68,10	— 40,10	+ 0,70	— 4,10	— 3,40
65,90	64,05	— 10,05	+ 0,45	— 1,85	— 1,40
71,70	69,20	— 24,00	+ 1,00	— 2,50	— 1,50
76,30	70,70	— 23,30	+ 0,80	— 5,60	— 4,80
64,50	59,30	— 7,30	+ 0,60	— 5,20	— 4,60
67,40	64,30	— 11,40	+ 0,60	— 3,10	— 2,50
65,80	62,60	— 12,10	+ 0,00	— 3,20	— 3,20
62,65	62,40	— 8,10	+ 0,25	— 0,25	+ 0,00
64,55	62,60	— 20,90	+ 1,85	— 1,95	— 0,10
64,75	63,05	— 17,35	+ 1,40	— 1,70	— 0,30
68,70	67,40	— 19,70	+ 1,30	— 1,30	+ 0,00
112,80	102,80	— 86,50	— 2,40	— 10,00	— 12,40
60,10	59,00	— 16,70	+ 1,10	— 0,10	— 0,00
Burette zerplatzt		— 29,90	—	—	—
120,65	—	— 15,90	+ 3,35	—	—
124,40	117,50	— 45,00	+ 0,60	— 6,90	— 6,30
211,40	—	— 58,00	+ 1,00	—	—

Analyse der Böden vorstehender Tabelle.

Nr. 1.

Bezeichnung: brauner Sand in Weisin.

Feuchtigkeit 4,635 %.

In der Trockensubstanz

K_2O = 0,055 %

CaO = 0,234 „

MgO = 0,127 „

SO_3 = 0,022 „

P_2O_5 = 0,069 „

N = 0,082 „

Nr. 2.

Bezeichnung: Sandboden aus Dodow.

Feuchtigkeit 0,485 %

In der Trockensubstanz

K_2O = 0,033 %

CaO = 0,163 „

MgO = 0,091 „

SO_3 = 0,032 „

P_2O_5 = 0,075 „

N = 0,099 „

Nr. 3.

Bezeichnung: humos. Sandboden aus Nisdorf.

Feuchtigkeit 20,824 %

In der Trockensubstanz

K_2O = 0,116 %

CaO = 0,577 „

MgO = 0,139 „

SO_3 = 0,148 „

P_2O_5 = 0,083 „

N = 0,420 „

Nr. 4.

Bezeichnung: lehmig. Sandboden aus Ahrensberg.

Feuchtigkeit 3,794 %

In der Trockensubstanz

K_2O = 0,024 %

CaO = 0,061 „

MgO = 0,126 „

SO_3 = 0,006 „

P_2O_5 = 0,021 „

N = 0,011 „

Nr. 5.

Bezeichnung: lehmig. Sandboden aus Dammeretz.
Feuchtigkeit: 2,430 %
In der Trockensubstanz
K_2O = 0,045 %
CaO = 0,090 „
MgO = 0,088 „
SO_3 = 0,024 „
P_2O_5 = 0,046 „
N = 0,095 „

Nr. 6.

Bezeichnung: stark lehmiger Sandboden aus Dammeretz.
Feuchtigkeit: 0,628 %
In der Trockensubstanz
K_2O = 0,063 %
CaO = 0,163 „
MgO = 0,140 „
SO_3 = 0,020 „
P_2O_5 = 0,058 „
N = 0,084 „

Nr. 7.

Bezeichnung: humoser Sandboden aus Bahlenhüschen.
Feuchtigkeit: 1,342 %
In der Trockensubstanz
K_2O = 0,018 %
CaO = 17,510 „
MgO = 0,206 „
SO_3 = 0,214 „
P_2O_5 = 0,732 „
N = 0,518 „

Nr. 8.

Bezeichnung: lehmig. Sandboden aus Güstrow.
Feuchtigkeit: 6,088 %
In der Trockensubstanz
K_2O = 0,081 %
CaO = 0,183 „
MgO = 0,147 „
SO_3 = 0,021 „
P_2O_5 = 0,051 „
N = 0,080 „

Nr. 9.

Bezeichnung: Sandboden Venschow.
Feuchtigkeit: 6,848 %
In der Trockensubstanz
K_2O = 0,037 %
CaO = 0,230 „
MgO = 0,093 „
SO_3 = 0,024 „
P_2O_5 = 0,063 „
N = 0,089 „

Nr. 11.

Bezeichnung: lehmig. Sandboden Pinnow.
Feuchtigkeit: 3,412 %
In der Trockensubstanz
K_2O = 0,052 %
CaO = 0,105 „
MgO = 0,127 „
SO_3 = 0,024 „
P_2O_5 = 0,044 „
N = 0,086 „

Nr. 12.

Bezeichnung: lehmig. Sandboden Pinnow.
Feuchtigkeit: 5,798 %
In der Trockensubstanz
K_2O = 0,046 %
CaO = 0,189 „
MgO = 0,123 „
SO_3 = 0,028 „
P_2O_5 = 0,048 „
N = 0,110 „

Nr. 13.

Bezeichnung: Sandboden von Versuchsstation.
Feuchtigkeit: 0,158 %
In der Trockensubstanz
K_2O = 0,034 %
CaO = 0,167 „
MgO = 0,060 „
SO_3 = 0,079 „
P_2O_5 = 0,053 „
N = 0,008 „

Nr. 19.

Bezeichnung: Lehmboden
Feuchtigkeit: 0,762 %
In der Trockensubstanz
K_2O = 0,053 %
CaO = 0,529 „
MgO = 0,209 „
SO_3 = 0,034 „
P_2O_5 = 0,050 „
N = 0,096 „

Nr. 22.

Bezeichnung: Wiesenboden aus Gr. Gischow.
Feuchtigkeit: 5,184 %
In der Trockensubstanz
K_2O = 0,089 %
CaO = 2,135 „
MgO = 0,273 „
SO_3 = 0,370 „
P_2O_5 = 0,245 „
N = 1,093 „

Nr. 24.

Bezeichnung: Humusboden von d. Versuchsstation.
Feuchtigkeit: 23,054 %
In der Trockensubstanz.
K_2O = 0,018 %
CaO = 17,51 „
MgO = 0,206 „
SO_3 = 0,214 „
P_2O_5 = 0,732 „
N = 0,518 „

Tabelle

Volumveränderung einiger argentinischer Ackerböden unter Ein- + 100 ccm

No.	Angewandte Mengen in Gram.	Nähere Bezeichnung	Volum I trocken	Volum II dicht
			trocken	
1	101,872	La Jolda	81,50	70,05
2	101,634	Planicie	87,00	75,75
3	104,348	Legue 6 valle	97.90	80,50
4	102,768	Loma ese el valle	93,70	77,25
5	101,681	Falda del valle	96,50	79,35
6	103,079	Legue 2 valle	95,50	77,40
7	106,418	Legue 1 valle	113,10	83,70
8	102,224	Loma acrenosa	97,00	79,25
9	105,503	Legue 4 Bajoen	110,10	89,00
10	105,128	Legue 7 valle	108,80	87,30
11	102,198	Legue 8 Falda del valle	92,70	76,50
12	104,760	Legue 21 valle	114,50	86,50
13	108,332	Legue 21 la planica Bajoen	114,30	89,55
14	107,338	Legue 27 planica	98,00	81,20
15	101,782	Legue 27 valle avenoso	98.60	75,35
16	103,129	Legue 26 Falda con. monta	100,10	83,60
17	101,938	Legue 26 valle avenosa	83,50	75.70
18	102,483	Legue 2 Planica	97,40	82,10
19	101,813	Legue 28 Planica	97,90	79,55
20	103,715	Monte grande loma	101,30	80,10

No. 59.

fluss von Wasser angewandt (entspr. 100 g wasserfreier Substanz) Wasser.

Volum III unter Flüssigkeit stehend	Volum IV nach Ablauf d. Flüssigkeit u. nach dem mechan. Einrütteln	Differenz von Volum I u. II	Differenz von Volum II u. III	Differenz von Volum III u. IV	Differenz von Volum II u. IV
70,90	67,50	— 11,45	+ 0,85	— 3,40	— 2,55
76,90	71,30	— 11,25	+ 1,15	— 5,60	— 4,45
81,70	78,50	— 17,40	+ 1,20	— 3,20	— 2,00
77,90	73,70	— 16,45	+ 0,65	— 4,20	— 3,55
80,20	75,50	— 17,15	+ 0,85	— 4,70	— 3,85
78,60	73,50	— 18,10	+ 1,20	— 5,10	— 3,90
85,10	80,20	— 29,40	+ 1,40	— 4,90	— 3,50
80,40	76,30	— 17,75	+ 1,15	— 4,10	— 2,95
90,60	84,60	— 21,10	+ 1,60	— 6,00	— 4,40
88,85	84,10	— 21,50	+ 1,55	— 4,75	— 3,20
77,40	73,10	— 16,20	+ 0,90	— 4,30	— 3,40
87,90	83,30	— 28,00	+ 1.40	— 4,60	— 3,20
90,75	85,90	— 24,75	+ 1,20	— 4,85	— 3,65
82,30	79,20	— 16,80	+ 1,10	— 3,10	— 2,00
76,10	71,40	— 23,25	+ 0,75	— 4,70	— 3,95
85,00	79,60	— 16,50	+ 1,40	— 5,40	— 4,00
76,75	72,50	— 7,80	+ 1,05	— 4,25	— 3,20
83,30	76,60	— 15,30	+ 1,20	— 6,70	— 5,50
80,30	75,40	— 18,35	+ 0,75	— 4,90	— 4,15
81,40	77,30	— 21,20	+ 1,30	— 4,10	— 2,80

Analysen der argentinischen Böden.

I. Bezeichnung: La Jolda.
Feuchtigkeit: 0,872 %
In der Trockensubstanz
K_2O = 0,185 %
CaO = 2,397 „
MgO = 0,589 „
SO_3 = 0,023 „
P_2O_5 = 0,098 „
N = 0,029 „

II. Bezeichnung: Planicie.
Feuchtigkeit: 1,634
In der Trockensubstanz
K_2O = 0,187 %
CaO = 1,039 „
MgO = 0,513 „
SO_3 = 0,023 „
P_2O_5 = 0,078 „
N = 0,034 „

III. Bezeichnung: Legue 6 Valle
Feuchtigkeit: 4,348 %
In der Trockensubstanz
K_2O = 0,383 %
CaO = 1,015 „
MgO = 0,653 „
SO_3 = 0,019 „
P_2O_5 = 0,130 „
N = 0,059 „

IV. Bezeichnung: Loma ese el Valte
Feuchtigkeit: 2,768 %
In der Trockensubstanz
K_2O = 0,213 %
CaO = 2,024 „
MgO = 0,379 „
SO_3 = 0,023 „
P_2O_5 = 0,092 „
N = 0,0047 „

V. Bezeichnung: Falda del Valle

Feuchtigkeit: 1,681 %

In der Trockensubstanz

$K_2O = 0{,}169$ %
$CaO = 1{,}964$ „
$MgO = 0{,}577$ „
$SO_3 = 0{,}023$ „
$P_2O_5 = 0{,}086$ „
$N = 0{,}042$ „

VI. Bezeichnung: Legue 2 Valle

Feuchtigkeit: 3,079 %

In der Trockensubstanz

$K_2O = 0{,}295$ %
$CaO = 0{,}750$ „
$MgO = 0{,}623$ „
$SO_3 = 0{,}015$ „
$P_2O_5 = 0{,}089$ „
$N = 0{,}041$ „

VII. Bezeichnung: Legue 1 Valle

Feuchtigkeit: 6,418 %

In der Trockensubstanz

$K_2O = 0{,}440$ %
$CaO = 3{,}125$ „
$MgO = 0{,}898$ „
$SO_3 = 0{,}027$ „
$P_2O_5 = 0{,}153$ „
$N = 0{,}054$ „

VIII. Bezeichnung: Loma acrenosa.

Feuchtigkeit: 2,224 %

In der Trockensubstanz

$K_2O = 0{,}221$ %
$CaO = 2{,}477$ „
$MgO = 0{,}594$ „
$SO_3 = 0{,}026$ „
$P_2O_5 = 0{,}096$ „
$N = 0{,}052$ „

IX. Bezeichnung: Legue 4 Bajoen.

Feuchtigkeit: 5,505 %

In der Trockensubstanz

$K_2O = 0{,}461$ %
$CaO = 1{,}050$ „
$MgO = 0{,}931$ „
$SO_3 = 0{,}020$ „
$P_2O_5 = 0{,}124$ „
$N = 0{,}065$ „

X. Bezeichnung: Legue 7 Valle

Feuchtigkeit: 5,128 %

In der Trockensubstanz

$K_2O = 0{,}436$ %
$CaO = 0{,}969$ „
$MgO = 0{,}218$ „
$SO_3 = 0{,}019$ „
$P_2O_5 = 0{,}125$ „
$N = 0{,}060$ „

XI. Bezeichnung: Legue 8 Falda del Valle
Feuchtigkeit: 2,198 %
In der Trockensubstanz
$K_2O = 0{,}257$ %
$CaO = 1{,}771$ „
$MgO = 0{,}727$ „
$SO_3 = 0{,}024$ „
$P_2O_5 = 0{,}126$ „
$N = 0{,}039$ „

XII. Bezeichnung: Legue 21 Valle
Feuchtigkeit: 4,760 %
In der Trockensubstanz
$K_2O = 0{,}432$ %
$CaO = 0{,}673$ „
$MgO = 0{,}585$ „
$SO_3 = 0{,}014$ „
$P_2O_5 = 0{,}086$ „
$N = 0{,}073$ „

XIII. Bezeichnung: Legue 21. Bajoen la planica.
Feuchtigkeit: 8,332 %
In der Trockensubstanz
$K_2O = 0{,}358$ %
$CaO = 1{,}783$ „
$MgO = 0{,}650$ „
$SO_3 = 0{,}028$ „
$P_2O_5 = 0{,}161$ „
$N = 0{,}059$ „

XIV. Bezeichnung: Legue 27 planica
Feuchtigkeit: 7,338 %
In der Trockensubstanz
$K_2O = 0{,}214$ %
$CaO = 2{,}127$ „
$MgO = 0{,}645$ „
$SO_3 = 0{,}026$ „
$P_2O_5 = 0{,}087$ „
$N = 0{,}051$ „

XV. Bezeichnung: Legue 27 Valle avenoso.
Feuchtigkeit: 1,782 %
In der Trockensubstanz
$K_2O = 0{,}203$ %
$CaO = 0{,}836$ „
$MgO = 0{,}489$ „
$SO_3 = 0{,}017$ „
$P_2O_5 = 0{,}104$ „
$N = 0{,}042$ „

XVI. Bezeichnung: Leg. 26. Falda con monta
Feuchtigkeit: 3,129 %
In der Trockensubstanz
$K_2O = 0{,}300$ %
$CaO = 1{,}788$ „
$MgO = 0{,}277$ „
$SO_3 = 0{,}023$ „
$P_2O_5 = 0{,}115$ „
$N = 0{,}051$ „

XVII. Bezeichnung: Legue 26 Valle avenoso.
Feuchtigkeit: 1,938 %
In der Trockensubstanz
K_2O = 0,184 %
CaO = 0,969 „
MgO = 0,511 „
SO_3 = 0,919 „
P_2O_5 = 0,094 „
N = 0,031 „

XVIII. Bezeichnung: Legue 2 Planica.
Feuchtigkeit: 2,483 %
K_2O = 0,233 %
CaO = 1,369 „
MgO = 0,336 „
SO_3 = 0,029 „
P_2O_5 = 0,074 „
N = 0,058 „

XIX. Bezeichnung: Leg. 28 Planica.
Feuchtigkeit: 1,813 %
In der Trockensubstanz
K_2O = 0,219 %
CaO = 1,528 „
MgO = 0,495 „
SO_3 = 0,022 „
P_2O_5 = 0,090 „
N = 0,044 „

XX. Bezeichnung: Monte grande loma
Feuchtigkeit: 3,715 %
In der Trockensubstanz
K_2O = 0,328 %
CaO = 3,131 „
MgO = 0,724 „
SO_3 = 0,028 „
P_2O_5 = 0,123 „
N = 0,059 „

Von obigen Materialien zeigt der Torf das grösste lockere und dichte Volumen; es folgen in absteigender Reihe reiner Kaolin, humoser Sandboden, Humusboden, lehmiger Sandboden, Lehmboden, Thonboden, Sandboden und zuletzt reiner Seesand. Unter Wasser tritt beim Kaolin Kontraktion ein, auch ein Sandboden (No. 1) zeigt diese Eigenschaft in geringem Masse. Die kleinste Expansion durch Anfeuchten mit Wasser hat der mit Salzsäure ausgezogene und geglühte Seesand erfahren, Sandboden verhält sich etwas stärker. Lehmiger Sand-

boden bildet den Übergang zumLehm- und Thonboden, die sich verhältnismässig stark ausdehnen. Der Humusboden spielt eine sonderbare Rolle. Das feuchte Volumen nimmt entweder ab, wie bei Nr. 1, oder nur wenig zu, wie bei No. 24 und No. 3; ausgetrockneter Torf hat seine Eigenschaft, sich unter Wasser auszudehnen, beinahe verloren. Humusboden wie No. 23 zeigt 3,35 ccm Expansion; viele Versuche mit solchen Böden konnten nicht zu Ende geführt werden, weil die Ausdehnung derselben so gross ist, dass die Büretten zerplatzten.

Wollny[1] fand, dass beim Torf die Expansion um so stärker war, je tiefer die Bodenschicht, welcher sie entstammen, d. h. je stärker sie humificiert waren. Jedenfalls hängt auch die Expansion des Humusbodens von dem Grade der Humificierung ab. Die Kontraktion, hervorgerufen durch mechanisches Einschütteln nach Ablauf der Flüssigkeit, ist beim Kaolin am grössten, manche Sandsorten stehen ihm nur wenig nach. Lehm- und Thonboden haben nur wenig oder gar keine Kontraktion, wegen der eingeschlossenen Luftblasen.[2] Humusboden weist manchmal gar keine, öfters aber beträchtliche Kontraktion auf (No. 24) (6,30 ccm). Dies sehr verschiedene Verhalten scheint auch darauf hinzudeuten, dass die Zusammensetzung der Humusstoffe sehr verschieden ist. Die amerikanischen Böden lassen eine Expansion durchschnittlich von 1,15 ccm und eine Kontraktion von ca. 3,50 ccm erkennen, stehen aber, mit unseren einheimischen Böden ver-

1) Wollny, Zersetzung der org. Stoffe u. s. w. Heidelberg.
2) Vgl. S. 63.

glichen, ihren Volumveränderungen nach ungefähr zwischen Lehm und Sand. Wie schon bemerkt, können alle diese Zahlen für die Praxis keinen Wert besitzen, da von ein und derselben Korngrösse (1 mm) ausgegangen und nicht den jeweiligen Strukturverhältnissen Rechnung getragen wurde. Die Resultate geben nur einen Überblick, wie die Bodenkonstituenten sich im Grossen und Ganzen in Bezug auf ihre Volumveränderungen verhalten. Aus der chemischen Analyse der Böden, die seitens der Landwirtschaftlichen Versuchsstation Rostock ausgeführt waren, lassen sich keine Beziehungen zu deren Volumveränderungen ableiten.

F.

Untersuchung

über die Natur der Krustenbildung.

Die Natur der für die Landwirtschaft so schädlichen Krustenbildung der humus- und kalkarmen Böden nach starker Düngung mit Chilisalpeter und Kaliumsalzen oder gar Kopfdüngung mit denselben ist ein Gegenstand lebhafter Erörterung geworden. Es schien deshalb geboten zu untersuchen, ob mit dieser Erscheinung eine Volumveränderung des Bodens verbunden ist. Behufs dieser Feststellung wurden Versuche angestellt mit lehmigem Sandboden, Lehm- und Thonboden und Salpeter- und Kainitlösung in $^1/_5$ % iger, 2% iger und 10 % iger Konzentration angewandt. Die Erdproben wurden ungefähr mit der halben Flüssigkeitsmenge, welche die Böden im gesättigten Zustande zu fassen vermochten (die Wasserdichte des angewandten Lehmbodens betrug 135 g, die des Thonbodens 165 g), befeuchtet, in einen 5 cm langen und 1,9 ccm weiten, beiderseits offenen, graduierten Glaszylinder in kleinen Portionen eingeführt und festgestampft.

Nach Füllung des Glasrohres wurde der Erdzylinder mittelst eines Stempels herausgepresst, nachdem

das Volumen bestimmt war. Auf einer Glasplatte blieben die Erdzylinder bis zum vollständigen Trocknen im Zimmer liegen, worauf ihre Länge und ihr Durchmesser wiederholt mittelst Millimeterpapier unter Mitbenutzung der Lupe festgestellt wurde.

Das Ergebnis der Versuche zeigen folgende Tabellen. (Tab. I bis IV.)

Die Durchschnittstabelle No. IV zeigt deutlich, dass der Lehmboden, der mit Kainit befeuchtet und ausgetrocknet war, eine grössere Volumabnahme zu verzeichnen hat als der unter gleichen Umständen mit Salpeterlösung behandelte Boden. Der Thonboden erleidet mit Salpeterlösung eingetrocknet eine Volumvermehrung. Da aber die Krustenbildung der Thonböden, verursacht durch Salpeter, in der Praxis gerade so nachteilig ist wie ein mit Kainit verkrusteter Lehmboden, so ist hieraus zu folgern, dass die Ursache dieser Erscheinung nicht auf eine Volumabnahme, resp. Verdichtung zurückzuführen ist.

Die einzelnen ausgetrockneten Erdzylinder wurden nun auf ihre Härte geprüft und zwar in der Weise, dass durch Belastung der Druck bestimmt wurde, der nötig ist, vermittelst eines Stahlmessers den Erdzylinder zu halbieren. Der hierzu benutzte Apparat sei kurz beschrieben. An der Unterseite eines Brettchens von 20 cm Länge und 10 cm Breite, das mittelst einer Vorrichtung auf- und abgleiten konnte, war ein starkes, ca. 5 cm hohes und 2 cm breites Stahlmesser mit dem Rücken eingeschraubt, sodass die Schneide bei genügender Belastung des Brettchens einen darunter gelegten Erdzylinder entzwei schneiden konnte. Welchen Widerstand

Volumveränderung von Sand-, Lehm- und Tonboden nach Befeuchten mit Salzlösungen und nachherigem Austrocknen.

Tabelle I

Volumveränderung von Sandboden nach Befeuchten mit Wasser, Salpeter- und Kainitlösung und nachherigem Austrocknen.

Flüssigkeit	Volum I feucht	Höhe des Erdzylinders	Durchmesser des Erdzylinders	Volum II trocken	Differenz von Volum I und II	Differenz von Volum I und II in Prozent. ausgedrückt
Wasser	15,90	3,95	2,25	15,69	— 0,21	— 1,18
1/5 % Na NO_3	14,50	3,70	2,28	15,09	+ 0,59	+ 4,07
2 % Na NO_3	16,25	4,22	2,26	16,91	+ 0,66	+ 4,06
10 % Na NO_3	15,50	3,92	2,26	15,71	+ 0,21	+ 1,36
1/5 % Kainit	13,20	3,43	2,26	13,75	+ 0,55	+ 4,17
2 % Kainit	16,60	4,25	2,26	17,03	+ 0,43	+ 2,59
10 % Kainit	16,90	4,23	2,25	16,80	— 0,10	— 0,59

Tabelle II

Volumveränderung von Lehmboden nach Befeuchten mit Wasser, Salpeter- und Kainitlösung und nachherigem Austrocknen.

Flüssigkeit	Volum I feucht	Höhe des Erd-zylinders	Durch-messer des Erdzylinders	Volum II trocken	Differenz von Volum I und II	Differenz von Volum I und II in Prozent. ausgedrückt
Wasser	20,50	5,25	2,21	20,12	— 0,38	— 1,85
$^1/_5$ % Na NO_3	21,50	5,39	2,24	21,22	— 0,28	— 1,30
2 % Na NO_3	21,50	5,23	2,24	20,59	— 0,91	— 4,23
10 % Na NO_3	21,50	5,40	2,22	20,88	— 0,62	— 2,88
$^1/_5$ % Kainit	20,50	5,00	2,23	19,51	— 0,99	— 4,83
2 % Kainit	20,60	5,10	2,22	19,71	— 0,89	— 4,32
10 % Kainit	22,50	5,63	2,22	21,77	— 0,73	— 3,25

Tabelle III

Volumveränderung von Thonboden nach Befeuchten mit Wasser, Salpeter- und Kainitlösung und nachherigem Austrocknen.

Flüssigkeit	Volum I feucht	Höhe des Erd-zylinders	Durch-messer des Erdzylinders	Volum II trocken	Differenz von Volum I und II	Differenz von Volum I und II in Prozent. ausgedrückt
H_2O	21,25	5,35	2,23	20,88	— 0,37	— 1,74
$^1/_5$ % Na NO_3	24,50	6,25	2,26	25,05	+ 0,55	+ 2,25
2 % Na NO_3	19,50	4,93	2,24	19,42	— 0,08	— 0,41
10 % Na NO_3	23,00	5,70	2,28	23,26	+ 0,26	+ 1,13
$^1/_5$ % Kainit	20,50	5,05	2,25	20,01	— 0,49	— 2,39
2 % Kainit	20,90	5,24	2,23	20,45	— 0,45	— 2,15
10 % Kainit	21,00	5,25	2,25	20,86	— 0,14	— 0,66

Tabelle IV

Zusammenstellung der Volumveränderungen von Sand-, Lehm- und Thonboden nach Befeuchten durch Wasser, Salpeter- und Kainitlösung und nachherigem Austrocknen.

	Sandboden	Lehmboden	Thonboden
Flüssigkeit	Volum-veränderung in Prozenten	Volum-veränderung in Prozenten	Volum-veränderung in Prozenten
Wasser	— 1,18	— 1,85	— 1,74
$Na\ NO_3$	+ 3,16	— 2,80	+ 0,99
Kainit	— 2,05	— 4,13	— 1,73

die einzelnen mit Salzlösungen eingetrockneten Böden dem Eindringen des Keiles entgegensetzten, zeigt Tab. V.

Alle drei mit Wasser befeuchteten und eingetrockneten Böden weisen eine geringere Härte auf, als die unter gleichen Umständen mit Salzlösungen behandelten Bodenarten. Die einzelnen Salze wirken aber verschieden. Mit der Konzentration von $^1/_2$ % an, fällt die Grösse der Kohäreszenz der mit Chlorkaliumlösung befeuchteten und eingetrockneten Böden. Die Härte bei Anwendung von Kainit nimmt proportional der Konzentration der Lösung zu. Salpeter verhält sich ebenso, jedoch nur bis zu einem gewissen Grade. Die Erden mit 10 % Salpeterlösung befeuchtet und eingetrocknet, was in der Praxis nie vorkommt, zeigen geringere Widerstandsfähigkeit, als durch verdünntere Lösungen hervorgerufene Bodenverhärtungen, wohl zweifellos eine Folgeder hygroskopischen Eigenschaft

Tabelle V.

Kohäreszenz der mit Wasser- resp. Salzlösungen befeuchteten und ausgetrockneten Böden

(in Grammen ausgedrückt).

Zur Eintrocknung angewandte Flüssigkeit	lehmiger Sandboden	Lehmboden		Tonboden	
Wasser		18 500 16 000 —	17 200 g	8 500 9 000 —	8 750
1/5 % K Cl		20 000 20 000 19 000	19 600 g	15 000 15 000 14 000	14 600 g
1/2 % K Cl		15 000 15 000 15 000	15 000 g	12 500 	12 500 g
2 % K Cl		11 500	11 500 g	9 500	9 500 g
10 % K Cl		9 000 7 000 8 500	8 160 g	5 500 5 000 5 500	5 330 g

Wasser	1 700 g	2 800	3 000
1/5 % Na NO_3	2 000	9 700	9 500
2 % Na NO_3	3 500	14 000	18 000
10 % Na NO_3	1 900	9 000	5 500
1/5 % Kainit	4 000	7 500	7 500
2 % Kainit	4 200	12 000	9 500
10 % Kainit	9 900	14 000	12 000

des salpetersauren Natrons, die eine geringere Austrocknung der Erde durch die Luft zulässt.

Tabelle VI.

Hygroscopicität des mit Wasser resp. Salpeterlösungen befeuchteten und eingetrockneten Lehmbodens.

Zur Eintrocknung angewandte Flüssigkeit	Hygroscopicität des Lehmbodens nach dem Austrocknen bis zum constanten Gewicht in Prozenten ausgedrückt
H_2O	1,31
$^1/_2$ % Na NO_3	1,24
2 % Na NO_3	1,22
10 % Na NO_3	1,48

Untersuchung

der Durchlüftungsfähigkeit mit Salzlösungen befeuchteter und eingetrockneter Bodenarten.

Behufs dieser Feststellung wurden die trockenen Böden mit der betreffenden Salzlösung angefeuchtet und, wie früher beschrieben, in gleich grosse Erdzylinder geformt von 4 cm Höhe und 2,25 cm Durchmesser. Nachdem dieselben lufttrocken waren und das Gewicht konstant blieb, wurden sie mit einem Kautschukschlauch überzogen und die Menge Luft in ccm gemessen, die in 17,5 Minuten unter dem Druck, welcher einer Wassersäule von 16 cm Höhe das Gleichgewicht hält, durch den Erdzylinder hindurchging. [1]

Über die Ergebnisse der Beobachtung gibt die nachfolgende Tabelle nähere Auskunft:

1) Vgl. Heinrich, Die Beurteilung der Ackerkrume p. 220.

Tabelle VII.

	Lehmboden		Thonboden	
	Luft in Kubikcentimetern, welche in 17,5 Minuten bei einem Druck der einer Wassersäule von 16 cm Höhe das Gleichgewicht hält durch die Erdzylinder gepresst wurde			
in lockerem trockenen Zustande	3345 ccm		2955 ccm	
Flüssigkeit, mit welcher der Boden eingetrocknet war				
Wasser	123,50	128,50	75,50	77,83
	138,00		81,00	
	124,00		77,00	
1/5 % Salpeter	114,5		74,00	
2 % Salpeter	95,50	92,83	49,00	54,83
	86,00		62,00	
	97,00		53,50	
10 % Salpeter	70,50		67,00	
1/5 % Kainit	43,50		52,50	
2 % Kainit	50,00	46,00	47,50	49,16
	42,50		54,00	
	45,50		46,00	
10 % Kainit	57,00		56,00	
1/5 % KCl	50,5		62,00	
1/2 % KCl	52,5		58,50	
2 % KCl	46,00		62,00	
10 % KCl	365,00		592,00	

In 17 Minuten 30 Sekunden ging ein Liter Luft durch einen mit Wasser befeuchteten und getrockneten Sandzylinder; deshalb wurde sämtlichen Versuchen 17,5 Minuten als Konstante der „Zeit“ zu Grunde gelegt. Mit Sandboden wurden keine weiteren Durchlüftungsversuche angestellt, da die Erdzylinder beim Überziehen des Gummischlauches sich leicht zerbröckelten und zu irrigen Resultaten führten.

Die mit konzentrierten Salzlösungen befeuchteten und getrockneten Böden setzen der Durchlüftbarkeit einen bis zur Hälfte grösseren Widerstand entgegen, als die unter gleichen Umständen mit Wasser behandelten Erden. Jedenfalls ist die Ursache der Schädlichkeit der Krustenbildung ausser auf die Verhärtung auf die schlechte Durchlüftungsfähigkeit zurückzuführen.

Aus den Resultaten der unter dem Kapitel: „Untersuchung über die Natur der Krustenbildung“ angestellten Versuche zu schliessen, dürfte der Vorgang der Verkrustung sich folgendermassen formulieren lassen. Die ausgestreuen Düngesalze werden durch Tau oder Regen gelöst und die zuvor in Luft eingehüllten Bodenpartikelchen mit Salzlösungen benetzt. Die Feuchtigkeit verdunstet allmählich wieder und die zurückbleibenden Salze verkitten auf diese Weise die Bodenmoleküle miteinander ohne erhebliche Volumveränderung. Der Boden wird in eine ausserordentlich harte Masse verwandelt und dadurch die Zufuhr des atmosphärischen Sauerstoffs erschwert.

Schluss.

Die gefundenen Resultate der vom Verfasser angestellten Versuche lassen sich in Kürze folgendermassen zusammenfassen:

1. Bei der Einwirkung von Salzlösungen auf Sandboden ist die Expansion desselben nicht abhängig von dem Salzgehalt der Lösung, während die Kontraktion bis zu einem gewissen Grade proportional der Konzentration der Lösung geht.

2. Mit der Feinheit des Sandbodens und mit der Armut derselben an für Pflanzen aufnehmbaren Mineralstoffen gehen die Volumschwankungen zurück. Geglühter und mit Salzsäure ausgezogener Seesand zeigt bei der Behandlung mit Salzlösungen fast keine Expansions- und Kontraktionserscheinungen.

3. Die Erscheinung der Kontraktion des Sandbodens verursacht durch Salzlösungen ist wahrscheinlich sowohl durch chemische als durch physikalische Vorgänge begründet.

4. Die Unfruchtbarkeit von Böden, die durch Chlorcalcium- und Chlormagnesiumwasser verursacht wird, ist höchstwahrscheinlich mit „auf Verschlemmung" zurückzuführen, die den Zutritt des atmosphärischen Sauerstoffs zur Pflanzenwurzel verhindert.

5. Unter den angewandten Salzen verhalten sich Karnallit und Kainit nicht so, wie man nach ihrer Zusammensetzung vermuten sollte, sondern sie zeigen Abweichungen von dem Verhalten ihrer Komponenten. Beim Sandboden verursachen sie stärkere Expansion, beim Lehm- und Thonboden sowohl grössere Expansion als auch Kontraktion als die Salze, aus welchen sie sich zusammensetzen.

6. Lehm- und Thonboden lassen in Bezug auf ihre Volumveränderungen durch Salzlösungen keine Gesetzmässigkeiten erkennen. Wasser bewirkt eine kleinere Kontraktion als sämtliche Salzlösungen. Die Expansion, verursacht durch Wasser, zeigt keine Abweichung vom Verhalten der Salzlösungen.

7. Die schädliche Krustenbildung der schweren kalk- und humusarmen Böden, die hauptsächlich durch Kopfdüngung mit Salpeter- und Kalisalzen auftritt, ist nicht auf Verdichtung, sondern auf Verhärtung der Bodenpartikel zurückzuführen. Die schlechtere Durchlüftbarkeit der mit Salzlösungen verkrusteten Böden ist ebenfalls ein Hauptfaktor dieser für die Praxis so schädlichen Erscheinung.

8. Die Ausdehnung des Humusbodens, hervorgerufen durch Salzlösungen, ist in gewissen Grenzen direkt proportional der Konzentration der Lösung mit Ausnahme von Chlorcalcium- und Kaliumnitratlösung, die sich umgekehrt proportional verhalten. Kontraktionserscheinungen treten beim Humus nicht auf. Wasser bewirkt eine geringere Expansion als sämtliche Salzlösungen.

9. Torf verliert durch Trocknen seine früheren physikalischen Eigenschaften vollständig. Wasser dehnt denselben um 0,29 % seines Volumens aus. Konzentrierte Salzlösungen bewirken schon Kontraktion des Bodens, beim Aufgiessen der Flüssigkeit.

10. Durch Frost vergrössern roher Thon- und Lehmboden ihre festen und lockeren Volumina. Die Bodenstruktur wird derart geändert, dass die Unterschiede in der Expansion und Kontraktion sich innerhalb weiterer Grenzen bewegen. Während des Sommers der Witterung ausgesetzt zeigen die dichten Volumina derselben Böden abermals eine Zunahme verursacht durch die körnigere Struktur. Das lockere Volumen nimmt beim Lehm gleichfalls noch zu, während sich beim Thonboden ein Rückgang des lockeren Volumens bemerkbar macht. Bei beiden Böden geht die Ausdehnung unter Wasser zurück. Salzlösungen wirken noch intensiver wie Wasser. Die Witterungseinflüsse führen also rohen Lehm- und Thonboden in eine krümeligere Struktur über und damit in physikalischer Beziehung in eine weit günstigere Gestaltung für die Vegetation.

11. Kohlensaurer Kalk und Kalkschlamm mit Sand vermischt vermehren das lockere und dichte Volumen proportional der angewandten Menge, während Kalkhydrat im lockeren und festen Zustande keine Volumvergrösserung aufweist. Die Expansion unter Wasser steigt mit zunehmendem Gehalt an Kalkhydrat und kohlensaurem Kalk, während Kalkschlamm in zunehmender Menge die Expansion verkleinert. Die Kontraktion ist bei letzterem am grössten. Kaolin mit

Kalkhydrat, kohlensaurem Kalk und Kalkschlamm vermischt zeigt schon ohne mechanisches Rütteln unter Wasser Kontraktion. Kalkhydrat verursacht die geringste und Kalkschlamm auch hier die grösste Kontraktion wie beim Seesand. Ca CO_3 steht in der Mitte zwischen beiden.

Zur physikalischen Aufbesserung von Sandboden wird Kalkhydrat und kohlensaurer Kalk gleich günstig zu verwerten sein, Kalkschlamm, bis zu 1 % angewandt, ebenso. Für schwere Böden eignet sich Kalkhydrat am besten, kohlensaurer Kalk äussert sich weit schwächer und Kalkschlamm wird sich kaum zur Kalkung eignen, wenn es sich um physikalische Verbesserung schwerer Böden handelt.

12. Bei Kalk- und Mergelarten schwanken die Volumveränderungen unter Anwendung von Wasser ebenso deren trockne lockere und dichte Litergewichte sehr stark, je nach dem Gehalt an Kalkhydrat und nach der Feinheit des Materials. Die auf ihre Volumveränderungen untersuchten mecklenburgischen Böden zeigen dieselbe Erscheinung je nach dem Humus- und Kalkgehalt und hauptsächlich nach ihrer Krümelstruktur. Aus der chemischen Zusammensetzung lässt sich keine Beziehung zur Volumveränderung der Ackerböden auffinden. Die untersuchten amerikanischen Böden zeigen durchschnittlich eine Expansion von 1,15 ccm und eine Kontraktion von ca. 3,50 ccm pro 100 g, stehen also ungefähr mit unseren einheimischen Böden verglichen zwischen Lehm und Sand.